第3版

金属热处理标准应用手册

全国热处理标准化技术委员会 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



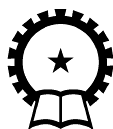
VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

金属热处理标准应用手册

第 3 版

全国热处理标准化技术委员会　编



机 械 工 业 出 版 社

本书对现行的各项热处理标准从其国内外状况、制定标准的主要依据、技术指标的试验及验证、与国际及国外先进标准的对照等方面进行了说明，提出了正确使用热处理标准的一些关键问题和注意事项。本书按标准用途分为热处理基础标准、热处理工艺标准、热处理工艺装备标准、热处理质量控制与检验标准、材料热处理标准、零件热处理标准、热处理工艺材料标准、节能环保与安全生产标准八章，其中各章每节基本包括概论、标准应用说明、标准内容三部分。本手册内容全面、实用，具有权威性，是机械装备制造业积极采用热处理标准和加速实施热处理标准所必备的工具书。

本书可供热处理工程技术人员及工人、标准化管理人员阅读使用，也可供相关专业在校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

金属热处理标准应用手册/全国热处理标准化技术委员会编. —3版. —北京：机械工业出版社，2015.11
ISBN 978-7-111-51833-4

Ⅰ.①金… Ⅱ.①全… Ⅲ.①热处理-标准-手册
Ⅳ.①TG15-65

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第245953号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：陈保华 责任编辑：陈保华
版式设计：霍永明 责任校对：程俊巧 刘秀丽
责任印制：乔 宇
北京京丰印刷厂印刷
2016年1月第3版·第1次印刷
184mm×260mm·79.5印张·2插页·2234千字
0 001—2 500册
标准书号：ISBN 978-7-111-51833-4
定价：279.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
策 划 编 辑：010-88379734

网络服务
机 工 官 网：www.cmpbook.com
机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
金 书 网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前　言

热处理标准化工作是我国热处理行业一项重要的基础性技术工作，是热处理质量管理体系中的重要环节，对促进热处理技术进步、保证产品质量和安全、提高效益和开展国际交流合作有着重要的作用。热处理的质量特性是其结果不能通过其后的检验和试验得到完全的验证，所以在GB/T 1900（ISO 9000）质量管理体系中热处理被认定为“特种工艺”，要求对工艺过程中的参数及影响参数的各种因素进行严格控制。因此，热处理标准是质量管理和控制的技术依据。

为了保持热处理标准的先进性、科学性、适用性，全国热处理标准化技术委员会跟踪相应的国际先进标准，不断制定新标准，修订老标准，并按轻重缓急把与国家重大项目配套的工艺装备标准和生产中急需的产品及工艺标准列入国家标准和行业标准计划，制定、审批、发布了热处理基础标准、热处理工艺标准、热处理工艺装备标准、热处理质量控制与检验标准、材料热处理标准、零件热处理标准、热处理工艺材料标准、节能环保与安全生产标准共八大类热处理标准。截至目前，热处理相关标准有100多项，已基本形成了比较完善的标准体系。

随着我国汽车、机械制造、航空航天、电力、船舶等行业的快速发展，热处理工艺尤其是工艺装备迎来了前所未有的发展机遇和巨大市场需求，但与此同时，对热处理工艺装备也提出了更高的要求。为保证热处理工艺技术的顺利实施和热处理件的高质量，以及实现热处理行业的节能减排和清洁生产，全国热处理标准化技术委员会组织制定了JB/T 10457—2004《液态淬火冷却设备技术条件》、GB/T 21736—2008《节能热处理燃烧加热设备技术条件》、JB/T 10895—2008《可控气氛密封多用炉生产线热处理技术要求》、JB/T 10896—2008《推杆式可控气氛渗碳线热处理技术要求》、JB/T 10897—2008《网带炉生产线热处理技术要求》、JB/T 11077—2011《大型可控气氛井式渗碳炉生产线热处理技术要求》、JB/T 11806—2014《可控气氛底装料立式多用炉热处理技术要求》、JB/T 11809—2014《真空低压渗碳炉热处理技术要求》、JB/T 11810—2014《真空高压气淬炉热处理技术要求》、JB/T 11808—2014《热处理用真空清洗机技术要求》等标准。这些标准的制定对相关设备制造企业生产过程中的技术性能、加工精度、自动化控制、能耗指标的确定以及安全与环保要求，尤其是可靠性等方面提出了较高的技术要求，使设备制造企业和热处理加工企业均有章可循、有据可依，有利于规范热处理相关企业的生产行为，促进先进技术在热处理行业的推广应用，降低能源消耗，减少污染，同时支撑了关键构件和高端装备的发展。

此外，节能环保与安全生产类标准GB/T 10201—2008《热处理合理用电导则》、GB/T 17358—2009《热处理生产电耗计算和测定方法》、GB/T 15318—2010《热处理电炉节能监测方法》、GB/T 27945.1—2011《热处理盐浴有害固体废物的管理　第1部分：一般管理》、GB/T 27945.2—2011《热处理盐浴有害固体废物的管理　第2部分：浸出液检测方法》、GB/T 27945.3—2011《热处理盐浴有害固体废物的管理　第3部分：无害化处理方法》、

GB/T 27946—2011《热处理工作场所空气中有害物质的限值》、GB 15735—2012《金属热处理生产过程安全卫生要求》、GB/T 30822—2014《热处理环境保护技术要求》的制定或修订将推动热处理产业向安全卫生、技术先进、资源节约、绿色环保方向发展。

装备制造业的升级改造是我国工业可持续发展和实现制造业强国的国家战略，围绕其中的精密制造和绿色制造方面的清洁高效基础制造工艺标准化，结合热处理行业的急迫需求，全国热处理标准化技术委员会提出引进了本行业两项重要的国外先进标准和规范，即美国宇航材料 AMS 2750E《高温测量》和美国汽车工业行动集团 CQI-9《热处理系统评估》，并在此基础上进行转化和创新，这一举措在热处理业界引起了极大反响，其成果之一就是 GB/T 30825—2014《热处理温度测量》和《热处理质量控制体系》（国家标准待批）。这两项标准将作为热处理质量检测与控制的重要技术规范和依据，为我国热处理质量的提高和行业的科学发展发挥标准的技术支撑作用。

本书按标准用途分为热处理基础标准、热处理工艺标准、热处理工艺装备标准、热处理质量控制与检验标准、材料热处理标准、零件热处理标准、热处理工艺材料标准、节能环保与安全生产标准八章，其中各章每节基本包括概论、标准应用说明、标准内容三部分。

本书第 2 版于 2005 年 8 月出版，至今已 10 年多了。到目前为止，相对于第 2 版时的热处理标准，新制定和修订的热处理标准已超过 90%。为了方便企业采用和贯彻热处理标准，全国热处理标准化技术委员会重新组织编写了第 3 版《金属热处理标准应用手册》。

参加编写和整理本书的人员有樊东黎、贾洪艳、李俏、徐跃明、王广生、安运铮、罗新明、包雪鹏、李振愚、王晓明、马兰、邵周俊、胡小丽、吕东显、张良界、姜椿年、陈德华、殷汉奇、牟宗山、向建华、胡明娟、张佳伟、湛宪宪、支道光、张炼、潘邻、董惠明、董小虹、聂晓霖、杨鸿飞、魏兴钊、李耀珍、蔡红、王志强、任颂赞、赵晓勇、高仰之、王孝勤、武兵书、丛培武、陈再良、史天振、盛长松等。

本书最后由贾洪艳、李俏统稿，徐跃明主审。

本书编者虽在编撰过程尽责尽力，但由于主客观原因，难免存在遗漏、错误和不周之处，望读者批评指正。

全国热处理标准化技术委员会秘书处

目　　录

前言
第一章　热处理基础标准 …… 1
第一节　金属热处理工艺术语 …… 1
一、概论 …… 1
二、标准应用说明 …… 2
三、标准内容（GB/T 7232—2012） …… 4
第二节　热处理工艺材料术语 …… 25
一、概论 …… 25
二、标准应用说明 …… 25
三、标准内容（GB/T 8121—2012） …… 26
第三节　热处理设备术语 …… 32
一、概论 …… 32
二、标准应用说明 …… 33
三、标准内容（GB/T 13324—2006） …… 35
第四节　金属热处理工艺分类及代号 …… 48
一、概论 …… 48
二、标准应用说明 …… 49
三、标准内容（GB/T 12603—2005） …… 51
第五节　热处理工艺材料分类及代号 …… 54
一、概论 …… 54
二、标准应用说明 …… 55
三、标准内容（JB/T 8419—2008） …… 56
第六节　可控气氛分类及代号 …… 59
一、概论 …… 59
二、标准应用说明 …… 62
三、标准内容（JB/T 9208—2008） …… 66
第七节　热处理技术要求在零件图样上的表示方法 …… 69
一、概论 …… 69
二、标准应用说明 …… 70
三、标准内容（JB/T 8555—2008） …… 77
第二章　热处理工艺标准 …… 85
第一节　钢件的正火与退火 …… 85
一、概论 …… 85
二、标准应用说明 …… 85
三、标准内容（GB/T 16923—2008） …… 93
第二节　钢件的淬火与回火 …… 99
一、概论 …… 99
二、标准应用说明 …… 101
三、标准内容（GB/T 16924—2008） …… 113
第三节　真空热处理 …… 121
一、概论 …… 121
二、标准应用说明 …… 122
三、标准内容（GB/T 22561—2008） …… 125
第四节　钢铁件的感应淬火回火 …… 133
一、概论 …… 133
二、标准应用说明 …… 134
三、标准内容（JB/T 9201—2007） …… 140
第五节　钢铁件的火焰淬火回火处理 …… 147
一、概论 …… 147
二、标准应用说明 …… 148
三、标准内容（JB/T 9200—2008） …… 157
第六节　钢铁件激光表面淬火 …… 163
一、概论 …… 163
二、标准应用说明 …… 163
三、标准内容（GB/T 18683—2002） …… 167
第七节　钢件的深冷处理 …… 173
一、概论 …… 173
二、标准应用说明 …… 174
三、标准内容（GB/T 25743—2010） …… 176
第八节　钢的锻造余热淬火回火处理 …… 180
一、概论 …… 180
二、标准应用说明 …… 180
三、标准内容（JB/T 4202—2008） …… 188
第九节　金属制件在盐浴中的加热和冷却 …… 192
一、概论 …… 192
二、标准应用说明 …… 199
三、标准内容（JB/T 6048—2004） …… 200
第十节　钢件在吸热式气氛中的热处理 …… 204
一、概论 …… 204
二、标准应用说明 …… 207
三、标准内容（JB/T 9207—2008） …… 211
第十一节　低温化学热处理工艺方法选择通则 …… 215
一、概论 …… 215

二、标准应用说明 …… 215
三、标准内容（JB/T 7500—2007） …… 219
第十二节 深层渗碳技术要求 …… 223
一、概论 …… 223
二、标准应用说明 …… 224
三、标准内容（GB/T 28694—2012）…… 227
第十三节 高温渗碳 …… 232
一、概论 …… 232
二、标准应用说明 …… 235
三、标准内容（GB/T 待批） …… 235
第十四节 钢件真空渗碳淬火 …… 243
一、概论 …… 243
二、标准应用说明 …… 243
三、标准内容（JB/T 11078—2011）…… 246
第十五节 钢件的气体渗氮 …… 251
一、概论 …… 251
二、标准应用说明 …… 252
三、标准内容（GB/T 18177—2008）…… 253
第十六节 钢铁件的离子渗氮 …… 264
一、概论 …… 264
二、标准应用说明 …… 264
三、标准内容（JB/T 6956—2007） …… 268
第十七节 精密气体渗氮热处理技术要求 …… 279
一、概论 …… 279
二、标准应用说明 …… 283
三、标准内容（GB/T 待批） …… 288
第十八节 钢铁件的气体氮碳共渗 …… 294
一、概论 …… 294
二、标准应用说明 …… 295
三、标准内容（GB/T 22560—2008）…… 297
第十九节 钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火 …… 303
一、概论 …… 303
二、标准应用说明 …… 304
三、标准内容（JB/T 3999—2007） …… 305
第二十节 渗硼 …… 312
一、概论 …… 312
二、标准应用说明 …… 313
三、标准内容（JB/T 4215—2008） …… 317
第二十一节 粉末渗金属 …… 322
一、概论 …… 322
二、标准应用说明 …… 323
三、标准内容（JB/T 8418—2008） …… 325
第二十二节 硼砂熔盐渗金属 …… 328
一、概论 …… 328
二、标准应用说明 …… 328
三、标准内容（JB/T 4218—2007） …… 330
第二十三节 盐浴硫氮碳共渗 …… 333
一、概论 …… 333
二、标准应用说明 …… 334
三、标准内容（JB/T 9198—2008） …… 337
第二十四节 金属覆盖层 钢铁制品热浸镀铝技术条件 …… 342
一、概论 …… 342
二、标准应用说明 …… 343
三、标准内容（GB/T 18592—2001）…… 349
第二十五节 钢铁构件固体渗铝工艺及质量检验 …… 366
一、概论 …… 366
二、标准应用说明 …… 366
三、标准内容（JB/T 10448—2005）…… 367
第二十六节 非调质钢件表面热处理 …… 377
一、概论 …… 377
二、标准应用说明 …… 378
三、标准内容（JB/T 11805—2014）…… 380
第二十七节 氮碳氧复合处理（QPQ）技术要求 …… 387
一、概论 …… 387
二、标准应用说明 …… 388
三、标准内容（JB/T 待批） …… 389
第三章 热处理工艺装备标准 …… 401
第一节 网带炉生产线热处理技术要求 …… 401
一、概论 …… 401
二、标准应用说明 …… 402
三、标准内容（JB/T 10897—2008）…… 403
第二节 液态淬火冷却设备技术条件 …… 410
一、概论 …… 410
二、标准应用说明 …… 410
三、标准内容（JB/T 10457—2004）…… 411
第三节 推杆式可控气氛渗碳线热处理技术要求 …… 420
一、概论 …… 420
二、标准应用说明 …… 420
三、标准内容（JB/T 10896—2008）…… 421
第四节 大型可控气氛井式渗碳炉生产线热处理技术要求 …… 430
一、概论 …… 430

二、标准应用说明 …… 431
三、标准内容（JB/T 11077—2011）…… 436
第五节　可控气氛密封多用炉生产线热处理技术要求 …… 445
一、概论 …… 445
二、标准应用说明 …… 445
三、标准内容（JB/T 10895—2008）…… 446
第六节　节能热处理燃烧加热设备技术条件 …… 457
一、概论 …… 457
二、标准应用说明 …… 458
三、标准内容（GB/T 21736—2008）…… 459
第七节　可控气氛底装料立式多用炉热处理技术要求 …… 467
一、概论 …… 467
二、标准应用说明 …… 469
三、标准内容（JB/T 11806—2014）…… 482
第八节　真空高压气淬炉热处理技术要求 …… 490
一、概论 …… 490
二、标准应用说明 …… 491
三、标准内容（JB/T 11810—2014）…… 497
第九节　真空低压渗碳炉热处理技术要求 …… 506
一、概论 …… 506
二、标准应用说明 …… 506
三、标准内容（JB/T 11809—2014）…… 512
第十节　热处理用真空清洗机技术要求 …… 520
一、概论 …… 520
二、标准应用说明 …… 521
三、标准内容（JB/T 11808—2014）…… 525
第十一节　热处理电热设备 …… 532
一、概论 …… 532
二、标准应用说明 …… 532
三、热处理电热设备相关标准 …… 533
第四章　热处理质量控制与检验标准 …… 535
第一节　热处理质量控制体系 …… 535
一、概论 …… 535
二、标准应用说明 …… 540
三、标准内容（GB/T 待批）…… 542
第二节　热处理温度测量 …… 562
一、概论 …… 562
二、标准应用说明 …… 569
三、标准内容（GB/T 30825—2014） …… 572
第三节　热处理炉有效加热区测定方法 …… 592
一、概论 …… 592
二、标准应用说明 …… 594
三、标准内容（GB/T 9452—2012） …… 602
第四节　燃气热处理炉温度均匀性测试方法 …… 613
一、概论 …… 613
二、标准应用说明 …… 614
三、标准内容（GB/T 30824—2014） …… 622
第五节　钢铁热处理零件硬度测试通则 …… 633
一、概论 …… 633
二、标准应用说明 …… 634
三、标准内容（JB/T 6050—2006） …… 637
第六节　测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头试验方法 …… 644
一、概论 …… 644
二、标准应用说明 …… 645
三、标准内容（GB/T 30823—2014/ISO 9950：1995） …… 649
第七节　钢箔测定碳势法 …… 656
一、概论 …… 656
二、标准应用说明 …… 656
三、标准内容（JB/T 10312—2011） …… 659
第八节　热处理钢件火花试验方法 …… 662
一、概论 …… 662
二、标准应用说明 …… 663
三、标准内容（JB/T 11807—2014） …… 667
第九节　钢件渗碳淬火回火金相检验 …… 682
一、概论 …… 682
二、标准应用说明 …… 684
三、标准内容（GB/T 25744—2010） …… 686
第十节　钢件感应淬火金相检验 …… 699
一、概论 …… 699
二、标准应用说明 …… 699
三、标准内容（JB/T 9204—2008） …… 703
第十一节　薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件显微组织检测 …… 707
一、概论 …… 707
二、标准应用说明 …… 707
三、标准内容（JB/T 7710—2007） …… 708
第十二节　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核 …… 714
一、概论 …… 714
二、标准应用说明 …… 715
三、标准内容（GB/T 9450—2005） …… 716

第十三节 钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验 …… 719
一、概论 …… 719
二、标准应用说明 …… 719
三、标准内容（GB/T 11354—2005）…… 720
第十四节 钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定 …… 734
一、概论 …… 734
二、标准应用说明 …… 735
三、标准内容（GB/T 9451—2005）…… 736
第十五节 钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定 …… 739
一、概论 …… 739
二、标准应用说明 …… 740
三、标准内容（GB/T 5617—2005）…… 742
第十六节 渗硼层显微组织、硬度及层深检测方法 …… 744
一、概论 …… 744
二、标准应用说明 …… 744
三、标准内容（JB/T 7709—2007）…… 746
第十七节 钢铁零件渗金属层金相检验方法 …… 751
一、概论 …… 751
二、标准应用说明 …… 751
三、标准内容（JB/T 5069—2007）…… 754
第十八节 钢铁零件强化喷丸的质量检验方法 …… 764
一、概论 …… 764
二、标准应用说明 …… 764
三、标准内容（JB/T 10174—2008）…… 766
第十九节 热作模具钢显微组织评级 …… 770
一、概论 …… 770
二、标准应用说明 …… 770
三、标准内容（JB/T 8420—2008）…… 775
第二十节 珠光体球墨铸铁零件感应淬火金相检验 …… 790
一、概论 …… 790
二、标准应用说明 …… 790
三、标准内容（JB/T 9205—2008）…… 795
第二十一节 中碳钢与中碳合金结构钢马氏体等级 …… 800
一、概论 …… 800
二、标准应用说明 …… 800
三、标准内容（JB/T 9211—2008）…… 803
第二十二节 低、中碳钢球化体评级 …… 806
一、概论 …… 806
二、标准应用说明 …… 806
三、标准内容（JB/T 5074—2007）…… 810
第二十三节 高碳高合金钢制冷作模具显微组织检验 …… 815
一、概论 …… 815
二、标准应用说明 …… 815
三、标准内容（JB/T 7713—2007）…… 817
第二十四节 灰铸铁接触电阻加热淬火质量检验和评级 …… 823
一、概论 …… 823
二、标准应用说明 …… 824
三、标准内容（JB/T 6954—2007）…… 825
第二十五节 钢质模锻件金相组织评级图及评定方法 …… 832
一、概论 …… 832
二、标准应用说明 …… 832
三、标准内容（GB/T 13320—2007）…… 837
第二十六节 定量金相测定方法 …… 852
一、概论 …… 852
二、标准应用说明 …… 853
三、标准内容（GB/T 15749—2008）…… 854
第五章 材料热处理标准 …… 861
第一节 不锈钢和耐热钢热处理 …… 861
一、概论 …… 861
二、标准应用说明 …… 862
三、标准内容（JB/T 9197—2008）…… 863
第二节 高温合金热处理 …… 871
一、概论 …… 871
二、标准应用说明 …… 873
三、标准内容（JB/T 7712—2007）…… 875
第三节 球墨铸铁热处理工艺及质量检验 …… 881
一、概论 …… 881
二、标准应用说明 …… 881
三、标准内容（JB/T 6051—2007）…… 883
第四节 可锻铸铁热处理 …… 888
一、概论 …… 888
二、标准应用说明 …… 888
三、标准内容（JB/T 7529—2007）…… 892
第五节 灰铸铁件热处理 …… 895
一、概论 …… 895
二、标准应用说明 …… 895

三、标准内容（JB/T 7711—2007） ……… 898
第六节　铸造铝合金热处理 ………………… 901
一、概论 ……………………………………… 901
二、标准应用说明 ………………………… 902
三、标准内容（GB/T 25745—2010）……… 903
第七节　冲模用钢及其热处理技术条件 …… 912
一、概论 ……………………………………… 912
二、标准应用说明 ………………………… 913
三、标准内容（JB/T 6058—1992） ……… 914
第六章　零件热处理标准 ………………… 922
第一节　齿轮调质工艺及其质量控制 ……… 922
一、概论 ……………………………………… 922
二、标准应用说明 ………………………… 922
三、标准内容（JB/T 6077—1992） ……… 925
第二节　齿轮气体渗碳热处理工艺及其质量控制 ……………………………… 931
一、概论 ……………………………………… 931
二、标准应用说明 ………………………… 931
三、标准内容（JB/T 7516—1994） ……… 934
第三节　齿轮碳氮共渗工艺及质量控制 …… 943
一、概论 ……………………………………… 943
二、标准应用说明 ………………………… 943
三、标准内容（JB/T 9173—1999） ……… 944
第四节　齿轮渗氮、氮碳共渗工艺及质量控制 ……………………………… 947
一、概论 ……………………………………… 947
二、标准应用说明 ………………………… 947
三、标准内容（JB/T 9172—1999） ……… 950
第五节　齿轮火焰及感应淬火工艺及其质量控制 ……………………………… 955
一、概论 ……………………………………… 955
二、标准应用说明 ………………………… 956
三、标准内容（JB/T 9171—1999） ……… 957
第六节　滚动轴承零件热处理技术条件 …… 964
一、概论 ……………………………………… 964
二、标准应用说明 ………………………… 965
三、标准内容（JB/T 1255—2014、JB/T 1460—2011、JB/T 2850—2007、JB/T 7363—2011、JB/T 8566—2008、JB/T 8881—2011、JB/T 11087—2011） …………… 966
第七节　机床零件的热处理 ………………… 1028
一、概论 ……………………………………… 1028
二、标准应用说明 ………………………… 1029
三、标准内容（JB/T 6609—2008、JB/T 8491.1—2008、JB/T 8491.2—2008、JB/T 8491.3—2008、JB/T 8491.4—2008、JB/T 8491.5—2008） ……………………………… 1030
第七章　热处理工艺材料标准 …………… 1063
第一节　热处理用盐 ………………………… 1063
一、概论 ……………………………………… 1063
二、标准应用说明 ………………………… 1063
三、标准内容（JB/T 9202—2004） ……… 1066
第二节　化学热处理渗剂技术条件 ………… 1071
一、概论 ……………………………………… 1071
二、标准应用说明 ………………………… 1071
三、标准内容（JB/T 9209—2008） ……… 1072
第三节　固体渗碳剂 ………………………… 1078
一、概论 ……………………………………… 1078
二、标准应用说明 ………………………… 1078
三、标准内容（JB/T 9203—2008） ……… 1082
第四节　防渗涂料 技术条件 ……………… 1089
一、概论 ……………………………………… 1089
二、标准应用说明 ………………………… 1089
三、标准内容（JB/T 9199—2008） ……… 1091
第五节　热处理保护涂料一般技术要求 …… 1095
一、概论 ……………………………………… 1095
二、标准应用说明 ………………………… 1095
三、标准内容（JB/T 5072—2007） ……… 1096
第六节　热处理常用淬火介质技术要求 ……………………………… 1099
一、概论 ……………………………………… 1099
二、标准应用说明 ………………………… 1099
三、标准内容（JB/T 6955—2008） ……… 1102
第七节　聚合物水溶性淬火介质测定方法 ……………………………… 1110
一、概论 ……………………………………… 1110
二、标准应用说明 ………………………… 1111
三、标准内容（JB/T 4392—2011） ……… 1114
第八节　聚乙烯醇合成淬火剂 ……………… 1121
一、概论 ……………………………………… 1121
二、标准应用说明 ………………………… 1121
三、标准内容（JB/T 4393—2011） ……… 1123
第九节　热处理用氩气、氮气、氢气一般技术条件 ……………………………… 1128
一、概论 ……………………………………… 1128
二、标准应用说明 ………………………… 1129
三、标准内容（JB/T 7530—2007） ……… 1131
第十节　高、中温热处理盐浴校正剂 ……… 1134

一、概论 …… 1134
二、标准应用说明 …… 1134
三、标准内容（JB/T 4390—2008）…… 1143
第十一节 热处理用聚烷撑二醇（PAG）水溶性淬火介质 …… 1146
一、概论 …… 1146
二、标准应用说明 …… 1147
三、标准内容（JB/T 待批）…… 1149
第八章 节能环保与安全生产标准 …… 1155
第一节 热处理合理用电导则 …… 1155
一、概论 …… 1155
二、标准应用说明 …… 1155
三、标准内容（GB/T 10201—2008）…… 1157
第二节 热处理电炉节能监测 …… 1160
一、概论 …… 1160
二、标准应用说明 …… 1160
三、标准内容（GB/T 15318—2010）…… 1162
第三节 热处理生产电耗计算和测定方法 …… 1166
一、概论 …… 1166
二、标准应用说明 …… 1168
三、标准内容（GB/T 17358—2009）…… 1168
第四节 热处理节能技术导则 …… 1171
一、概论 …… 1171
二、标准应用说明 …… 1171
三、标准内容（GB/Z 18718—2002）…… 1173
第五节 热处理生产燃料消耗计算和测定方法 …… 1177
一、概论 …… 1177
二、标准应用说明 …… 1178
三、标准内容（GB/T 19944—2015）…… 1181
第六节 金属热处理生产过程安全、卫生要求 …… 1185
一、概论 …… 1185
二、标准应用说明 …… 1186
三、标准内容（GB 15735—2012）…… 1191
第七节 热处理工作场所空气中有害物质的限值 …… 1200
一、概论 …… 1200
二、标准应用说明 …… 1201
三、标准内容（GB/T 27946—2011）…… 1202
第八节 热处理盐浴有害固体废物的管理 第 1 部分：一般管理 …… 1207
一、概论 …… 1207
二、标准应用说明 …… 1208
三、标准内容（GB/T 27945. 1—2011）…… 1210
第九节 热处理盐浴有害固体废物的管理 第 2 部分：浸出液检测方法 …… 1212
一、概论 …… 1212
二、标准应用说明 …… 1213
三、标准内容（GB/T 27945. 2—2011）…… 1215
第十节 热处理盐浴有害固体废物的管理 第 3 部分：无害化处理方法 …… 1220
一、概论 …… 1220
二、标准应用说明 …… 1221
三、标准内容（GB/T 27945. 3—2011）…… 1223
第十一节 热处理环境保护技术要求 …… 1227
一、概论 …… 1227
二、标准应用说明 …… 1227
三、标准内容（GB/T 30822—2014）…… 1231
第十二节 热处理清洗废液回收及排放技术要求 …… 1237
一、概论 …… 1237
二、标准应用说明 …… 1238
三、标准内容（GB/T 待批）…… 1239
附录 相关资料 …… 1244
附录 A 标准化机构 …… 1244
附录 B 热处理及相关标准分类目录 …… 1248

第一章　热处理基础标准

第一节　金属热处理工艺术语

一、概论

1. 修订本标准的必要性

金属热处理工艺术语是热处理工艺工作的语言，如果不统一，就不利于工艺信息的传递和工艺工作经验交流，甚至会造成不必要的麻烦和损失。目前我国金属热处理及其相关的各类术语说法不完全统一，一个“事物”有几个名称者较为普遍，同一个名称又表示几个“事物”者也很常见；另外，众多的热处理教材和参考书中术语不统一将会造成相关院校学生和青年科技工作者在学习和提高中浪费时间，出现理解错误并且可能混淆所学内容的真正含义；同时计算机检索时将因关键词不同而造成最常用的“主题词索引”难以编辑。因此，统一工艺术语不仅有利于工艺技术交流，而且也有利于网络检索、管理和共享，同时建立相应国家的用语对照，是促进国内、国际技术交流所必需的。

各工业发达国家都有比较完备的工艺术语标准。过去金属的热处理主要是针对钢铁材料的热处理，近几年随着我国在汽车制造业、船舶制造业和航空航天技术突飞猛进的发展，不同种类材料及其功能的扩大以及新材料的不断涌现，加之表面工程技术的广泛应用，使得金属热处理的范围不断扩大，旧的标准已不能充分满足各行业的需求，所以热处理工艺方面的术语也需要扩充。其次，这几年来，各种标准纷纷根据各自的实际情况进行了修订和完善，对于在工艺过程中涉及的术语也进行了相应的修改，因此本标准的修订很有必要。

2. 本标准的国内外概况及制定原则

世界各国对专业术语的标准化工作都很重视。就热处理专业来说，虽然有的国家对热处理工艺并未建立标准而是附属在产品标准中，但工艺术语标准却率先建立。现行的国际及发达工业国家关于热处理名词术语方面的标准有 ISO 4885：1996《铁制品　热处理词汇》、DIN EN 10052：1994《钢基工程材料热处理术语》、BS EN 10052：1994《黑色金属制品的热处理术语词汇》、NF A02-010：1994《铁制品的热处理词汇》、JIS G0201：2000《钢铁术语汇编（热处理)》。我国热处理工艺术语过去主要根据国外书籍、引进工艺及设备文件中所用名词直译或沿用操作者的习惯用语而定。其中直译名词因人而异，音译、意译又不统一，形成“一物多名”或“一名多物”。例如“thermo-mechanical treatment”其实是一个工艺过程，但往往有人生硬地将其直接译为“热机械处理”，这对国内同行不易理解。对外交流时，还有很多人根据该工艺过程的操作过程称为“deformation heat treatment”。实际上这两个名词的工艺过程是一样的，所以为统一术语，仍保留英文原文为“thermo-mechanical treatment”以后将该含义统称为“形变热处理”。另外，还有一个典型的例子就是“quenching”一词，现在越来越多的人将凡是加热过的工件或各种有色合金材料快冷的过程不管是否发生马氏体或贝氏体相变一概称为“淬火”，这是一个非常值得引起注意的问题。在新标准中，将淬火（quenching hardening，transformation hardening）和淬冷（quenching）做了明确界定。

还有在工件的热处理过程中广泛采用的调质工艺，最早我们国家沿用了苏联改善、优质化的

意思，后来在英文对照中又仿效日本把这个工艺术语译成“trermal refining”或“conditioning”，结果，英美同行就很难理解。我国还有人特意强调“高温回火”，在英文名称里加上“high temperature tempering”。实际上对于用“quenching and tempering”一词的含义来表达“调质”处理不会使人联想到普通的淬火和回火热处理工艺，所以此术语在中英文对照中采用了目前国际上通用的“quenching and tempering”一词。

本标准制定于1987年，并于1999年进行了第1次修订，再次修订完成于2012年。第2次修订在GB/T 7232—1999《金属热处理工艺术语》的基础上，兼顾准确、科学，对近几年日益扩大应用的表面工程工艺术语也收纳其中，同时采用了近年已经修订过的标准中涉及的工艺术语，补充和扩大了术语的使用范围，并对于一些习惯性叫法对应译成了国际上通用的名称，以免引起误解。

二、标准应用说明

1. 本标准的条文规定及技术数据确定的依据或来源

（1）术语收入范围。收入本标准的术语是与金属热处理工艺关系密切的名词，还包括表面工程技术中的术语，例如激光热处理、激光熔覆、高能束热处理等。

（2）术语的定义。本标准所列术语的定义一般采用国际材料热处理联合会《热处理术语》的定义，有些定义叙述得更具体一些。有关表面工程技术中的术语引用了《英汉热处理及表面工程术语》，其定义主要采用《金属学及热处理词典》中的定义，同时参考了从网络收集到的新信息。

（3）术语的英文对照。修订本标准时考虑到英语在国际交流中的广泛应用，以及英文在全球互联网的广泛传播，所以主要参考了英美文献。同时考虑到我国热处理工作者经常参考的文献还包括德、法、俄、日等语言，所以修订时也酌情参照了这些国家所用术语的英文表达方法。

（4）对于新修订出版的热处理工艺标准和设备标准中涉及的工艺术语也收纳其中。

2. 几个常用术语的说明

（1）真空热处理（2.9）。在热处理过程中习惯上称谓的“真空”实际上是低于一个大气压的低压状态，即低压热处理，但“真空热处理”一词已成习惯用语，使用起来不会引起误解。而且国际上也是用“Vacuum（真空）”这个词，故在定义中说明了是低于一个大气压下进行的热处理。

（2）流态床热处理（2.15）。流态床借助于流体的驱动，使固体颗粒悬浮于流体中。利用两相流的优良导热性能，把热量迅速传递给工件（用作加热介质），或把工件热量迅速散发掉（用作冷却介质）。我国流态床的名称很不一致，如流态化床、流化床炉、浮动粒子炉、流动粒子炉、沸腾层炉等。由于这种两相流并非原本意义上的“沸腾”状态，故确定其名称为流态床热处理。

（3）清洁热处理（2.22）。简化了清洁热处理的定义，重点指出它是一种少、无污染，少、无氧化的热处理生产技术。

（4）相变诱发塑性（2.23）。针对我国汽车制造业的迅猛发展，对于汽车钢板用钢的热处理采用相变诱发塑性技术已经非常普遍并且成熟。通过相变诱发塑性（TRIP）效应使钢板中残留奥氏体在塑性变形作用下诱发马氏体转变，并产生局部硬化，继而变形不再集中在局部，使相变均匀扩散到整个材料以提高构件的强度和塑性。典型的TRIP钢中碳的质量分数为0.2%，锰的质量分数为1%～2%，硅的质量分数为1%～2%，通过热轧变形热处理或冷轧+热处理，TRIP钢的组织（体积分数）由50%～60%铁素体，25%～40%贝氏体或少量马氏体和5%～15%残留奥氏体组成。TRIP钢的强度和韧性高于双相钢和微合金钢。因此，在修订本标准时查询了大量文献，确定了它的定义。

（5）有效加热区（2.35）。根据GB/T 9452—2012《热处理炉有效加热区测定方法》中关于有效加热区的名词解释，本修订标准中增加了这一术语。

（6）淬火与淬冷（5.1、5.2）。淬火这个名称，国内外过去都用得比较混乱，有时整个淬火工艺称为淬火（quenching），有时又将淬火冷却这一部分也称为淬火，有时还将合金从高温固溶体区急冷下来以免固溶体分解而保留到常温（没有相变发生）的冷却步骤也称为淬火。现在国际上对于这一问题已有明确区别，根据 IFHT 的“热处理术语”标准中已明确规定整个淬火工艺称为 quench hardening，淬火的冷却步骤称为 quenching，固溶处理中的冷却过程称为 rapid cooling。因此，依照习惯称整个工艺过程为淬火，而不叫淬火硬化；淬火冷却称为淬冷，即淬火冷却的简称；固溶处理的快冷过程被称为快冷。

（7）等温淬火（5.24）。等温淬火是个泛指的名称，即将加热的工件冷至某一温度保持一定时间完成组织转变后再冷却。如果以获得贝氏体为目的，则名称中明确指出获得贝氏体为目的就称为贝氏体等温淬火。

（8）余热淬火（5.31）。这种工艺是利用变形操作（如轧制、锻造等）后的余热进行淬冷的。它和形变热处理不同，即它不是在某一恒温进行形变后才淬冷，而是在变温形变成形后再淬冷的，即利用余热来淬火。这种操作包括锻造余热淬火、轧制余热以及控制轧制等。

（9）冷处理与深冷处理（5.37、5.38）。将工件在远低于室温的温度进行冷却的工艺，我国通常称为冷处理。但是“冷”字的技术意义是不确定的，因为“冷”是相对于“热”而言的，热处理中所称的冷处理是在远低于室温的温度下处理，而深冷处理甚至可达到 $-196°C$（液氮的汽化温度）。因而在新标准中按实际所用的温度范围分为冷处理和深冷处理两类。

（10）索氏体化处理（5.50）。原称“铅淬火”。自 20 世纪 50 年代以来，我国所谓“铅淬火”的定义是将钢丝加热至奥氏体化温度，随之浸入该钢的等温转变图的鼻尖附近温度的铅浴中，等温保持直到奥氏体分解完毕后取出在空气中冷却下来，获得全部或大部分索氏体组织。

（11）自热回火（6.4）与自发回火（6.5）。过去有“自回火”这个统称，理解成在表层淬火后，由于心部还有热量向外传导，对已淬火部分进行加热回火。但是自从对低碳马氏体深入研究后发现，由于低碳钢的 Ms 点较高，淬火时自发形成回火组织，因而称为自发回火，而前面所说的由心部的热量传到表面受到加热回火，称为自然回火。

（12）自然稳定化处理（或天然稳定化处理）（7.8）。铸件在露天长期放置导致铸造应力的松弛，从而使铸件形状和尺寸稳定，这样的处理在我国通常称为“时效”。该术语的英文“seasoning”虽可直译为“时效”，但是在金属学及热处理专业中时效（即 aging）已有明确定义，即合金经固溶处理或冷塑性形变后，在室温放置或在稍高温度保持时，其性能随时间而变化的现象。合金时效后所发生的性能变化是由于成分扩散形成颗粒析出而引起的，并不涉及内应力的松弛或消除。为了避免混淆，对铸件就采用自然（或天然）稳定化处理这样的叫法，而不再称“时效”。

（13）碳含量分布（8.23）。碳含量泛指钢件整体或某一部位碳的含量，不限定其存在的形式。碳浓度则限定为固溶于 α 铁或 γ 铁中的碳含量。合金钢渗碳表层常出现碳化物，近年来开发的碳化物弥散强化渗碳（8.14）更是如此。因而碳含量作为定量表达碳在渗层中的分布比较贴切。

（14）碳活度（8.27）。活度的物理含义是给定溶质在给定溶液（或固溶体）中的有效浓度。钢件渗碳通常是在奥氏体状态进行，因此钢件渗碳涉及的碳活度通常是指碳在奥氏体中的有效浓度。应该指出，铁素体中碳的活度及活度系数，切忌随意套用计算奥氏体中碳的活度及活度系数的经验公式。

（15）表面处理术语。由于材料表面处理是当今材料界应用非常广泛的改性技术，所以在 1999 版的术语的基础上，增加了激光熔覆（12.1）、激光冲击处理（12.2）、微弧氧化（12.3）、离子注入（12.4）、强流脉冲电子束辐照（12.20）、等离子喷涂（12.21）、热喷涂（12.22）等有关表面工程技术中常用到的术语。同时将沉积类名词术语归到表面工程和复合热处理中，将这一部分的术

语顺序进行了调整。

（16）索氏体、托氏体（13.29，13.30）。索氏体、托氏体的名称虽然我国使用非常广泛，但由于只是珠光体粗细之分，国外已经废弃了这两个名称，本次修订后的标准中依然列出主要是为了照顾使用习惯。

（17）淬火冷却畸变（14.6）。工件热处理时发生的形状和尺寸的变化通常称为热处理变形。现在国外热处理文献和书籍中通称“distortion”，而不用“deformation”一词，所以在此标准中修改为“畸变”。

（18）回火脆性的英文对照问题（14.20、14.21、14.22）。根据国际材料热处理联合会的名词规定，回火脆性的英文对照为 temper brittleness；第一类回火脆性的英文为 irreversible temper brittleness，第二类回火脆性的英文为 reversible temper brittleness。

（19）液体氮碳共渗。国外曾称为“软氮化”，长期以来我国几乎所有的企业一直采用直译的这一名称。最初单指在盐浴中进行的氮碳共渗。后来凡是氮碳共渗的工艺，无论是盐浴还是用气体，都叫软氮化。以前还称为“低温碳氮共渗”，但这个名称也不太确切，一是什么叫“低温”，二是碳氮共渗究竟是以渗碳为主，还是以渗氮为主很模糊，因此，根据国际材料热处理联合会的定名原则，以渗碳为主的碳和氮共渗称为碳氮共渗，以渗氮为主的碳和氮共渗称为氮碳共渗，淘汰“软氮化”一词。需要说明的是随着人们环保意识的增强，对于含氰的“液体碳氮共渗”和“硫氮碳共渗”逐渐废除，所以这两项术语不再列入此标准中。

（20）热处理工艺材料术语　对于在 GB/T 8121—2012《热处理工艺材料 术语》中已定义的工艺材料术语，如可控气氛、吸热式气氛、放热式气氛、放热-吸热式气氛、滴注式气氛、氮基气氛、合成气氛、直生式气氛、中性气氛、氧化气氛、还原气氛，本标准中不再列出。

（21）本标准还新列出近几年引起广泛关注的热处理工艺，如淬火-碳分配热处理（Q-P 热处理）（2.16）、晶界工程（2.24）、非晶晶化（2.25）、强烈淬火（5.35）等数字化淬火冷却控制技术（5.36）。

此外，随着海峡两岸在金属热处理行业交流越来越密切，个别大陆常用的术语进一步在台湾《金属热处理名词》一书中得到肯定。在本次修订中，对于台湾的一些习惯性用法也进行了归纳和对照，但去掉了台湾方面也用得比较少的英文名称。

本标准共涉及术语 312 条，比前一版本增加 19 条。（北京机电研究所李俏供稿）

三、标准内容（GB/T 7232—2012）

金属热处理工艺　术语

1　范围

本标准规定了金属热处理工艺主要术语的中英文对照及其定义。

本标准适用于金属热处理工艺技术标准及技术文件等。

2　总类

2.1　热处理　heat treatment

采用适当的方式对金属材料或工件（以下简称工件）进行加热、保温和冷却以获得预期的组织结构与性能的工艺。

2.2　整体热处理　bulk heat treatment

对工件整体进行穿透加热的热处理。

2.3　局部热处理　local heat treatment；partial heat treatment

仅对工件的某一部位或几个部位进行热处理的工艺。

2.4　化学热处理　thermo-chemical treatment

将工件置于适当的活性介质中加热、保温，使一种或几种元素渗入它的表层，以改变其化学成分、组织和性能的热处理。

2.5　化合物层　compound layer

化学热处理、物理气相沉积和化学气相沉积时在工件表面形成的化合物层。

2.6　扩散层　diffusion layer

化学热处理时工件化合物层以下的渗层和化学气相沉积时化合物溶解并进行扩散的内层，统称扩散层。

2.7　表面热处理　surface heat treatment

为改变工件表面的组织和性能，仅对其表面进行热处理的工艺。

2.8　预备热处理　conditioning treatment

为调整原始组织，以保证工件最终热处理或（和）切削加工性能，预先进行热处理的工艺。

2.9　真空热处理　vacuum heat treatment; low pressure heat treatment

在真空度低于 1×10^5Pa（通常是 $10^{-1}\sim10^{-3}$Pa）的环境中加热的热处理工艺。

2.10　光亮热处理　bright heat treatment

工件在热处理过程中基本不被氧化，表面保持光亮的热处理。

2.11　磁场热处理　magnetic field heat treatment; thermomagnetic treatment

为改善某些铁磁性材料的磁性能而在磁场中进行的热处理。

2.12　可控气氛热处理　controlled atmosphere heat treatment

为达到无氧化，无脱碳或按要求增碳，在成分可控的炉气中进行的热处理。

2.13　保护气氛热处理　protective atmosphere heat treatment

在工件表面不被氧化的气氛或惰性气体中进行的热处理。

2.14　离子轰击热处理　plasma heat treatment; ion bombardment heat treatment; glow discharge heat treatment

在低于 1×10^5Pa（通常是 $10^{-1}\sim10^{-3}$Pa）的特定气氛中利用工件（阴极）和阳极之间等离子体加热进行的热处理。

2.15　流态床热处理　heat treatment in fluidized beds

工件在由气流和悬浮其中的固体粉粒构成的流态层中进行的热处理。

2.16　淬火-碳分配热处理（Q-P 热处理）　quenching and partitioning heat treatment

将钢在奥氏体化后先淬火至 Ms-Mf 间的温度，形成一定数量的马氏体和残留奥氏体，再在 Ms-Mf 间或在 Ms 以上的温度停留，使碳由体心立方的马氏体向面心立方的奥氏体分配，最后形成碳重新分配的马氏体和富碳残留奥氏体复相组织的热处理。

2.17　高能束热处理　high energy beam heat treatment

利用激光、电子束、等离子弧、感应涡流或火焰等高功率密度能源加热工件的热处理。

2.18　稳定化处理　stabilizing treatment; stabilizing

为使工件在长期服役的条件下形状和尺寸变化能够保持在规定范围内的热处理。

2.19　形变热处理　thermo-mechanical treatment

将塑性变形和热处理结合，以提高工件力学性能的复合工艺。

2.20　复合热处理　complex heat treatment

将多种热处理工艺合理组合，以便更有效地改善工件使用性能的复合工艺。

2.21　修复热处理　restoration heat treatment

指对长期运行后的热处理件在尚未发生不可恢复的损伤之前，采用合适的工艺进行热处理，使其组织结构得以改善，使用性能或几何尺寸得以恢复，服役寿命得以延长的热处理技术。

2.22　清洁热处理　clean production in heat treatment

是一种少、无污染，少、无氧化与节能的热处理技术。

2.23　相变诱发塑性　TRIP；transformation induced plasticity

恶稳奥氏体在形变加工过程中引起马氏体相变并由之显示出塑性大幅度提高，此现象简称为“相变诱发塑性”。

2.24　晶界工程　grain boundary engineering

又称晶界特征分布优化。通过优化形变和热处理工艺来改变某些材料中特殊晶界的数量与分布，从而改善材料的某些与晶界相关的晶界失效抗力等使用性能。

2.25　非晶晶化　crystallization of amorphous

将非晶态合金加热到晶化温度（T_x）以上并保温一段时间，得到纳米晶合金的工艺。

2.26　热处理工艺周期　heat treatment cycle

通过加热、保温、冷却，完成一种热处理工艺过程的周期。

2.27　加热制度　heating schedule

对一个工艺周期内工件或加热介质在加热阶段温度变化的规定。

2.28　预热　preheating

为减少畸变，避免开裂，在工件加热至工艺设定温度前进行的一次或数次阶段性保温的过程。

2.29　加热速率　heating rate

在给定温度区间，单位时间内工件或介质温度的平均增值。

2.30　差温加热　differential heating

有目的地在工件中产生温度梯度的加热。

2.31　移动加热　scanning heating

工件在热源内连续移动或热源沿工件连续移动进行的加热。

2.32　旋转加热　spin heating

工件在热源内（外）边旋转边进行的加热。

2.33　保温　holding；soaking

工件或加热介质在工艺规定温度下恒温保持一定时间的操作。恒温保持的时间和温度分别称保温时间和保温温度。

2.34　有效厚度　effective thickness

工件各部位壁厚不同时，如按某处壁厚确定加热时间即可保证工件的热处理质量，则该处的壁厚称为工件的有效厚度。

2.35　有效加热区　work zone

在加热炉中，经温度检测而确定的满足工件热处理工艺规定温度和温度均匀性的工作空间。

2.36　奥氏体化　austenitizing

工件加热至 Ac_3 或 Ac_1 以上，以全部或部分获得奥氏体组织的操作称为奥氏体化。工件进行奥氏体化的保温温度和保温时间分别称为奥氏体化温度和奥氏体化时间。

2.37　冷却制度　cooling schedule

对工件热处理冷却条件（冷却介质、冷却速度）所做的规定。

2.38　冷却速度　cooling rate

热处理冷却过程中在某一指定温度区间或某一温度下，工件或介质温度随时间下降的速率。前者称为平均冷却速度，后者称为瞬时冷却速度。

2.39　马氏体临界冷却速度　critical cooling rate for martensitic transformation

工件淬火时可抑制非马氏体转变的冷却速度下限。

2.40　冷却曲线　cooling curve

显示热处理冷却过程中工件温度随时间变化的曲线。

2.41　特性冷却曲线　characteristic cooling curve

规定试样心部的冷却速度随温度变化的特性曲线，它反映了液态介质对试样在不同温度下的冷却速度。

2.42　炉冷　furnace cooling

工件在热处理炉中加热保温后，切断供给炉子的能源，使工件随炉冷却的方式。

2.43　淬冷烈度　quenching intensity

表征淬火介质从热工件中吸取热量的能力的指标，以 H 值来表示。几种介质的淬火冷却烈度见表 1。

表 1　淬火冷却烈度 H

搅动情况	空气	油	水	盐水
静止	0.02	0.25～0.30	0.9～1.0	2.0
中等	—	0.35～0.40	1.1～1.2	—
强	—	0.50～0.80	1.6～2.0	—
强烈	0.08	0.80～1.10	4.0	5.0

2.44　等温转变　isothermal transformation

工件奥氏体化后，冷却到临界点（Ar_1 或 Ar_3）以下等温保持时过冷奥氏体发生的转变。

2.45　连续冷却转变　continuous cooling transformation

工件奥氏体化后以不同冷却速度连续冷却时过冷奥氏体发生的转变。

2.46　等温转变图　TTT diagram；time-temperature-transformation diagram；isothermal transformation diagram；IT diagram

奥氏体等温转变图

过冷奥氏体在不同温度等温保持时，温度、时间与转变产物所占百分数（转变开始及转变终止）的关系曲线图。

2.47　连续冷却转变图　CCT diagram；continuous cooling transformation diagram

奥氏体连续冷却转变图

工件奥氏体化后连续冷却时，过冷奥氏体开始转变及转变终止的时间、温度及转变产物与冷却速度之间的关系曲线图。

2.48　孕育期　incubation period；incubation time

工件的材料中不平衡组织在给定温度恒温保持时，从到达该温度至开始发生组织转变所经历的时间。

3　退火类

3.1　退火　annealing

工件加热到适当温度，保持一定时间，然后缓慢冷却的热处理工艺。

3.2　再结晶退火　recrystallization annealing

经冷塑性变形加工的工件加热到再结晶温度以上，保持适当时间，通过再结晶使冷变形过程中产生的晶体学缺陷基本消失，重新形成均匀的等轴晶粒，以消除形变强化效应和残余应力的退火。

3.3　等温退火　isothermal annealing

工件加热到高于 Ac_3（或 Ac_1）的温度，保持适当时间后，较快冷却到珠光体转变温度区间的适当温度并等温保持，使奥氏体转变为珠光体类组织后在空气中冷却的退火。

3.4　球化退火　spheroidizing annealing

为使工件中的碳化物球状化而进行的退火。

3.5　预防白点退火　hydrogen relief annealing

为防止工件在热形变加工后的冷却过程中因氢呈气态析出而形成发裂（白点），在形变加工结束后直接进行的退火。其目的是使氢扩散到工件之外。

3.6　脱氢处理　dehydrogenizing，baking

在工件组织不发生变化的条件下，通过低温加热、保温，使工件内的氢向外扩散进入大气中的退火。

3.7　光亮退火　bright annealing

工件在热处理过程中基本不被氧化，表面保持光亮的退火。

3.8　中间退火　process annealing；intermediate annealing；interstage annealing

为消除工件形变强化效应，改善塑性，便于实施后继工序而进行的工序间退火。

3.9　扩散退火　diffusion annealing

均匀化退火　homogenizing annealing

以减少工件化学成分和组织的不均匀程度为主要目的，将其加热到高温并长时间保温，然后缓慢冷却的退火。

3.10　稳定化退火　stabilizing annealing

为使工件中细微的显微组成物沉淀或球化的退火。例如某些奥氏体不锈钢在850°C附近进行稳定化退火，沉淀出TiC、NbC、TaC，防止耐晶间腐蚀性能降低。

3.11　去应力退火　stress relieving；stress-relief annealing

为去除工件塑性变形加工、切削加工或焊接造成的内应力及铸件内存在的残余应力而进行的退火。

3.12　完全退火　full annealing

将工件完全奥氏体化后缓慢冷却，获得接近平衡组织的退火。

3.13　不完全退火　partial annealing；incomplete annealing

相变区退火

亚温退火

临界区退火

将工件部分奥氏体化后缓慢冷却的退火。

3.14　高温退火　high temperature annealing

晶粒粗化退火　coarse-grained annealing

将工件加热至比正常退火较高的温度，保持较长时间，使晶粒粗化以改善工件的切削加工性能。

3.15　双联退火　double annealing

中间不冷至室温，前后连续的两次退火。

3.16　快速退火　rapid annealing

采用高能束或其他能源将工件加热至比正常退火较高的温度并短暂保温的退火。

3.17　亚相变点退火　sub-criticalannealing

亚临界点退火

工件在低于 Ac_1 的温度进行的退火工艺的总称。其中包括亚相变点球化退火、再结晶退火、去应力退火等。

3.18　连续退火　continuous annealing

用连续作业炉实施的退火。

3.19　可锻化退火　malleablizing

使成分适宜的白口铸铁中的碳化物分解并形成团絮状石墨的退火。

3.20　石墨化退火　graphitizing treatment

为使铸铁内莱氏体中的渗碳体和（或）游离渗碳体分解为石墨而进行的退火。

3.21　装箱退火　pack annealing

将工件装入有保护介质的密封容器中加热的退火。

3.22　真空退火　vacuum annealing

工件在压力低于 1×10^5Pa（通常是 $10^{-1}\sim10^{-3}$Pa）的环境中进行的退火。

3.23　感应加热退火　induction annealing

利用感应电流通过工件所产生的热量进行的退火。

3.24　火焰退火　flam eannealing

利用火焰加热进行的退火。

3.25　等温形变珠光体化处理　isoforming

工件加热奥氏体化后，过冷到珠光体转变区的中段，在珠光体形成过程中塑性加工成形的联合工艺。

3.26　晶粒细化处理　grain refining

以减少工件晶粒尺寸或改善组织均匀性而进行的热处理。

3.27　保护气氛退火　protective atmosphere annealing

在能使工件表面层化学成分保持不变的气氛中进行的退火。

3.28　循环退火　cyclic annealing

将钢加热到稍高于 A_1 点以上温度，保温一段时间，然后缓慢冷却到 A_1 以下不多的温度，保温一段时间，接着重新升温到 A_1 点以上不多的温度，保温一段时间，随之又缓慢冷却到 A_1 点以下不多的温度，保温一段时间，如此循环数次，最后缓冷下来。

4　正火类

4.1　正火　normalizing

工件加热奥氏体化后在空气中或其他介质中冷却获得以珠光体组织为主的热处理工艺。

4.2　等温正火　isothermal normalizing

工件加热奥氏体化后，采用强制吹风快冷到珠光体转变区的某一温度，并保温，以获得珠光体型组织，然后在空气中冷却的正火。

4.3　二段正火　two-step normalizing

工件加热奥氏体化后，在静止的空气中冷却到 Ar_1 附近即转入炉中缓慢冷却的正火。

4.4　两次正火　repeated normalizing

多重正火

工件（主要为铸锻件）进行两次或两次以上的重复正火。

5 淬火类

5.1 淬火 quench hardening；transformation hardening

工件加热奥氏体化后以适当方式冷却获得马氏体或（和）贝氏体组织的热处理工艺。最常见的有水冷淬火、油冷淬火、空冷淬火等。

5.2 淬火冷却 quenching

淬冷

工件淬火周期中的冷却部分。

5.3 局部淬火 selective hardening；localized quench hardening

仅对工件需要硬化的局部进行的淬火。

5.4 表面淬火 surface hardening

仅对工件表层进行的淬火，其中包括感应淬火、接触电阻加热淬火、火焰淬火、激光淬火、电子束淬火等。

5.5 穿透淬火 through hardening

工件从表面至心部全部硬化的淬火。

5.6 感应淬火 induction hardening

利用感应电流通过工件所产生的热量，使工件表层、局部或整体加热并快速自冷的淬火。

5.7 火焰淬火 flame hardening

利用氧-乙炔（或其他可燃气体）火焰使工件表层加热并快速冷却的淬火。

5.8 激光淬火 laser hardening；laser transformation hardening；LTH

以激光作为能源，以极快的速度加热工件并快速自冷的淬火。

5.9 电子束淬火 electron beam hardening

以电子束作为能源，以极快的速度加热工件的自冷淬火。

5.10 表面熔凝处理 surface melting treatment

用激光、电子束等快速加热，使工件表层熔化后通过自冷迅速凝固的工艺。

5.11 脉冲淬火 impulse hardening

用高功率密度的脉冲能束使工件表层加热奥氏体化，热量随即在极短的时间内传入工件内部的自冷淬火。

5.12 亚温淬火 intercritical hardening

亚共析钢制工件在 $Ac_1 \sim Ac_3$ 温度区间奥氏体化后淬火冷却，获得马氏体及铁素体组织的淬火。

5.13 接触电阻加热淬火 contact hardening

借助电极（高导电材料的滚轮）与工件的接触电阻加热工件表层，并快速冷却（自冷）的淬火。

5.14 真空淬火 vacuum hardening；vacuum quenching

将工件在真空度低于 1×10^5Pa 的加热炉中进行加热予以奥氏体化，随之在气体或液体介质中进行淬冷的淬火硬化处理工艺。

5.15 气冷淬火 gas quenching

专指在真空中加热和在高速循环的负压、常压或高压的中性和惰性气体中进行的淬火冷却。

5.16 风冷淬火 forced air hardening；air blast hardening

以强迫流动的空气或压缩空气作为冷却介质的淬火冷却。

5.17 盐水淬火 brine hardening

以盐类的水溶液作为冷却介质的淬火冷却。

5.18　有机聚合物水溶液淬火　polymer solution hardening

以有机聚合物的水溶液作为冷却介质的淬火冷却。

5.19　喷液淬火　spray hardening；spray quenching

用喷射液流作为冷却介质的淬火冷却。

5.20　喷雾冷却　fog hardening

工件在水和空气混合喷射形成的雾中进行的淬火冷却。

5.21　热浴淬火　hot bath hardening

工件在熔盐、熔碱、熔融金属或高温油等热浴中进行的淬火冷却。如盐浴淬火、铅浴淬火、碱浴淬火等。

5.22　双介质淬火　interrupted quenching；timed quenching

双液淬火

工件加热奥氏体化后先浸入冷却能力强的介质，在组织即将发生马氏体转变时立即转入冷却能力缓和的介质中冷却。

5.23　加压淬火　press hardening

模压淬火　die hardening

工件加热奥氏体化后在特定夹具夹持下进行的淬火冷却，其目的在于减少淬火冷却畸变。

5.24　等温淬火　austempering

贝氏体等温淬火

工件加热奥氏体化后快冷到贝氏体转变温度区间等温保持，使奥氏体转变为贝氏体的淬火。

5.25　分级淬火　interrupted quenching；step quenching

马氏体分级淬火　martempering

工件加热奥氏体化后浸入温度稍高或稍低于 Ms 点的碱浴或盐浴中保持适当时间，在工件整体达到介质温度后取出空冷以获得马氏体的淬火。

5.26　直接淬火　direct quenching；direct hardening

工件渗碳或碳氮共渗后直接淬火冷却的工艺。

5.27　两次淬火　double quench hardening

工件渗碳冷却后，先在高于 Ac_3 的温度奥氏体化并淬火以细化心部组织，随即在略高于 Ac_1 的温度奥氏体化以细化渗层组织的淬火。

5.28　自冷淬火　self quench hardening

工件局部或表层快速加热奥氏体化后，加热区的热量自行向未加热区传导，从而使奥氏体化区迅速冷却的淬火。

5.29　电解液淬火　electrolytic hardening

工件欲淬硬的部位浸入电解液中接阴极，电解液槽接阳极，通电后由于阴极效应而将浸入部位加热奥氏体化，断电后被电解液冷却的淬火。

5.30　光亮淬火　bright quenching；clean hardening

工件在可控气氛、惰性气体或真空中加热，并在适当介质中冷却，或盐浴加热在碱浴中冷却，以获得光亮或光洁金属表面的淬火。

5.31　余热淬火　ausforging

工件在高温奥氏体状态经形变后利用锻造、轧制后的余热进行直接淬火，使锻件获得部分或全部马氏体组织的热处理工艺。

5.32 预冷淬火 delay quenching

延迟淬火

工件加热奥氏体化后浸入淬火冷却介质前先在空气中停留适当时间（延迟时间）的淬火。

5.33 定时淬火 time quenching

工件在淬冷介质中按工艺规定时间停留的淬火。

5.34 中间冷却淬火 intermediate cooling quenching

工件渗碳后在保护气氛下冷至完成珠光体转变后重新在可控气氛下保护加热淬火的工艺。

5.35 强烈淬火 intensive quenching

通过对淬火冷却介质的流量、流速和压力控制，和在冷却过程中对工件表层和心部的冷却强度和冷却温度控制，使工件获得所需要的组织和应力分布状态，既可避免工件淬裂和发生过大的畸变，又提高工件力学性能和使用寿命的淬火方法，是一种具有节能、高效、环保等效果的淬火冷却新技术。

5.36 数字化淬火冷却控制技术 digitalized quenching cooling-control technology

通过计算机模拟确定工艺，并在计算机控制下的淬火冷却设备上采用预冷与水、空气交替控时冷却的方法，实现用传统工艺和其他介质难以达到要求的工件的淬火。

5.37 冷处理 cold treatment

工件淬火冷却到室温后，继续在致冷设备或低温介质中冷却至 *Mf* 以下温度（一般在 −60 ~ −80°C）的工艺。

5.38 深冷处理 cryogenic treatment

工件淬火后继续在液氮或液氮蒸气中冷却的工艺。

5.39 淬硬性 hardening capacity

以钢在理想条件下淬火所能达到的最高硬度来表征的材料特性。

5.40 淬透性 hardenability

以在规定条件下钢试样淬硬深度和硬度分布表征的材料特性。

5.41 淬硬层 quench hardened case

工件从奥氏体状态急冷硬化的表层。一般以有效淬硬深度来定义。

5.42 有效淬硬深度 effective hardening depth

沿淬硬工件表面垂直的方向，测至规定硬度值（一般为 550HV）处的距离。

5.43 临界直径 critical diameter

钢制圆柱试样在某种介质中淬冷后，中心得到全部马氏体或 50% 马氏体组织的最大直径，以 d_C 表示。

5.44 理想临界直径 ideal critical diameter

在淬火冷却烈度为无限大的理想淬冷介质中淬火冷却时，圆柱钢试样全部淬透时的临界直径。用 d_{IC} 表示。

5.45 端淬试验 Jominy end quenching test

将尺寸为 ϕ25mm × 100mm 标准端淬试样加热奥氏体化后在专用设备上对其一端喷水冷却，冷却后沿轴线方向测出硬度-距水冷端距离关系曲线的试验方法。它是测定钢的淬透性的主要方法。

5.46 淬透性曲线 hardenability curve

用钢试样进行端淬试验测得的硬度-距水冷端距离的关系曲线。

5.47 淬透性带 hardenability band

同一牌号的钢因化学成分或奥氏体晶粒度的波动而引起的淬透性曲线变动的范围。

5.48　硬度分布　hardness profile

工件淬火后，硬度由表面至心部随距离的变化曲线。

5.49　U 形曲线　U-curve

用圆柱形试样测定钢的淬透性时，淬火后横截面上沿直径方向的硬度分布曲线。一般呈 U 形。

5.50　索氏体化处理　patenting

派登脱处理

高强度钢丝或钢带制造中的一种特殊处理方法。其工艺过程是将中碳钢或高碳钢线材或带材加热奥氏体化后在 Ac_1 以下适当温度（~500°C）的热浴中等温或在强制流动的气流中冷却以获得索氏体或以索氏体为主的组织，这种组织适于冷拔，冷拔后可获得优异的强韧性配合。可分为铅浴索氏体化处理、盐浴索氏体化处理和流态床索氏体化处理等多种。

6　回火类

6.1　回火　tempering

工件淬硬后加热到 Ac_1 以下的某一温度，保温一定时间，然后冷却到室温的热处理工艺。

6.2　真空回火　vacuum tempering

工件在真空炉达到一定真空度并充入惰性气体的回火。

6.3　加压回火　press tempering

同时施加压力以校正淬火冷却畸变的回火。

6.4　自回火　self tempering

自热回火

利用局部或表层淬硬工件内部的余热使淬硬部分回火的工艺。

6.5　自发回火　auto tempering

形成马氏体的快速冷却过程中因工件的 *Ms* 点较高而自发回火的现象。低碳钢在淬火冷却时就发生这一现象。

6.6　低温回火　low temperature tempering；first stage tempering

工件在 250℃以下进行的回火。

6.7　中温回火　medium temperature tempering

工件在 250~500℃之间进行的回火。

6.8　高温回火　high temperature tempering

工件在 500℃以上进行的回火。

6.9　多次回火　multiple tempering

工件淬硬后在同一回火温度进行两次或两次以上的回火。

6.10　二次硬化　secondary hardening

一些高合金钢在一次或多次回火后硬度上升的现象。这种硬化现象是由于碳化物弥散析出和（或）残留奥氏体转变为马氏体或贝氏体所致。

6.11　回火稳定性　tempering resistance

耐回火性

工件回火时抵抗软化的能力。

6.12　调质　quenching and tempering

工件淬火并高温回火的复合热处理工艺。

6.13　感应加热回火　induction heat tempering

利用感应电流通过工件所产生的热量，使工件表层、局部或整体加热并快速冷却的回火。

7 固溶和时效热处理类

7.1 固溶处理 solution treatment

工件加热至适当温度并保温，使过剩相充分溶解，然后快速冷却以获得过饱和固溶体的热处理工艺。

7.2 水韧处理 water toughening

为改善某些奥氏体钢的组织以提高材料韧度，将工件加热到高温使过剩相溶解，然后水冷的热处理。例如高锰钢（Mn13）加热到1 000～1 100℃保温后水冷，以消除沿晶界或滑移带析出的碳化物，从而得到高韧度和高耐磨性。

7.3 沉淀硬化 precipitation hardening

在过饱和固溶体中形成溶质原子偏聚区和（或）析出弥散分布的强化相而使金属硬化的热处理。

7.4 时效处理 ageing treatment；ageing

时效

工件经固溶处理或淬火后在室温或高于室温的适当温度保温，以达到沉淀硬化的目的。在室温下进行的称自然时效，在高于室温下进行的称人工时效。

7.5 分级时效处理 interrupted ageing treatment；step ageing

工件经固溶处理后进行二次或多次逐级提高温度加热的人工时效处理。

7.6 过时效处理 overageing；overageing treatment

工件经固溶处理后用比能获得最佳力学性能高得多的温度或长得多的时间进行的时效处理。

7.7 马氏体时效处理 marageing

含碳极低的铁基合金马氏体的沉淀硬化处理。

7.8 自然稳定化处理 seasoning

将铸铁件在露天长期（数月乃至数年）放置，使铸件的内应力逐渐松弛，并使其尺寸趋于稳定。

7.9 回归 reversing

某些经固溶处理的铝合金自然时效硬化后，在低于固溶处理温度（120～180℃）短时间加热后力学性能恢复到固溶处理状态的现象。

7.10 形变时效 strain ageing

铝合金、铜合金冷塑性加工与时效相结合的复合处理。

8 渗碳类

8.1 渗碳 carburizing

为提高工件表层的含碳量并在其中形成一定的碳浓度梯度，将工件在渗碳介质中加热、保温，使碳原子渗入的化学热处理工艺。

8.2 固体渗碳 pack carburizing；solid carburizing；box carburizing；powder carburizing

将工件放在填充粒状渗碳剂的密封箱中进行的渗碳。

8.3 膏剂渗碳 paste carburizing

工件表面以膏状渗碳剂涂覆进行的渗碳。

8.4 液体渗碳 liquid carburizing

盐浴渗碳 salt bath carburizing

工件在含有渗碳剂熔盐中进行的渗碳。

8.5 气体渗碳 gas carburizing

工件在含碳气氛中进行的渗碳。

8.6　滴注式渗碳　drip feed carburizing

将苯、醇、酮、煤油等液体渗碳剂直接滴入炉内裂解进行的气体渗碳。

8.7　离子渗碳　plasma carburizing；ion carburizing；glow discharge carburizing

在低于 1×10^5Pa（通常是 $10\sim10^{-1}$Pa）渗碳气氛中，利用工件（阴极）和阳极之间产生的等离子体进行的渗碳。

8.8　流态床渗碳　fluidized bed carburizing

在含碳的流态床中进行的渗碳。

8.9　电解渗碳　electrolytic carburizing

在作为阴极的工件和与之同置于盐浴中的石墨阳极之间接通电源进行的渗碳。

8.10　真空渗碳　partial pressure carburizing；vacuum carburizing

低压渗碳　low pressure carburizing

在低于 1×10^5Pa 的条件下于渗碳气氛中进行的渗碳。

8.11　高温渗碳　high temperature carburizing

在 950℃以上进行的渗碳。

8.12　局部渗碳　localized carburizing；selective carburizing

仅对工件某一部分或某些区域进行的渗碳。

8.13　穿透渗碳　homogeneous carburizing

薄工件从表面至中心全部渗透的渗碳。

8.14　碳化物弥散强化渗碳　carbide dispersion carburizing

使渗碳表层获得细小分散碳化物以提高工件服役能力的渗碳。

8.15　薄层渗碳　sheet carburizing

工件渗碳淬火后，表面总硬化层深度或有效硬化层深度≤0.3mm 的渗碳。

8.16　深层渗碳　deep carburizing

工件渗碳淬火后，表面总硬化层深度或有效硬化层深度达 3mm 以上的渗碳。

8.17　复碳　carbon restoration

工件因某种原因脱碳后，为恢复初始碳含量而进行的渗碳。

8.18　碳势　carbon potential

表征含碳气氛在一定温度下改变工件表面含碳量能力的参数，通常用氧探头监控，还可以采用碳含量 <0.06% 的碳素钢箔片在含碳气氛中的平衡含碳量定量监测。

8.19　露点　dew point

指气氛中水蒸气开始凝结的温度，露点与气氛中的水汽含量成正比，气氛中的水汽含量愈高，露点愈高。进行气体渗碳时，可通过测定露点间接确定气氛的碳势。

8.20　强渗期　carburizing period；boost period

工件在高碳势渗碳气氛条件下进行渗碳，使其表面迅速达到高碳浓度的阶段。

8.21　扩散期　diffusion period

强渗结束后，降低气氛碳势使由富碳表层向内扩散的碳量超过介质传递给工件表面的碳量，从而使渗层碳浓度梯度趋于平缓的阶段。

8.22　渗碳层　carburized case

渗碳工件含碳量高于原材料的表层。

8.23　碳含量分布　carbon profile

在沿渗碳工件表面垂直的方向上碳在渗层中的分布。

8.24 渗碳层深度 carburized case depth；carburized depth

由渗碳工件表面向内至碳含量为规定值外（一般为0.4%C）的垂直距离。

8.25 渗碳淬火有效硬化层深度 carburizing and hardening effective case depth

工件渗碳淬火后的表面到规定硬度（一般为550HV）处的垂直距离，以CHD表示。测定维氏硬度时所用的试验力为9.807N（1kgf）。

8.26 渗碳件心部区域 core zone of carburized piece

3倍于渗碳淬火有效硬化层深度的区域。

8.27 碳活度 carbon activity

与渗碳有关的碳活度通常是指碳在奥氏体中的活度。它与奥氏体中碳的浓度成正比，比值称为活度系数。这个活度系数又是温度、奥氏体中溶入的合金元素品种及各自浓度以及碳的浓度的函数。其物理意义是碳在奥氏体中的有效浓度。

8.28 碳可用率 carbon availability

在气氛碳势从1%降至0.9%时，$1m^3$（标准状态下）气体可传递到工件表面的碳量，单位g/m^3。

8.29 碳传递系数 carbon mass transfer coefficient；carbon coefficient；carbon transfer value

单位时间（s）内气氛传递到工件表面单位面积的碳量（碳通量）与气氛碳势和工件表面含碳量（碳钢）之间的差值之比。

8.30 空白渗碳 blank carburizing

为预测工件渗碳后心部组织特征及可达到的力学性能，用试样在中性介质中进行与原定渗碳淬火周期完全相同的热处理。

8.31 碳化物形成元素 carbide forming element；carbide former

钢铁中与碳的化学亲和力比铁高的合金元素。

9 渗氮类

9.1 渗氮 nitriding

在一定温度下于一定介质中使氮原子渗入工件表层的化学热处理工艺。

9.2 液体渗氮 liquid nitriding

在含渗氮剂的熔盐中进行的渗氮。

9.3 气体渗氮 gas nitriding

在可提供活性氮原子的气氛中进行的渗氮。

9.4 离子渗氮 plasma nitriding；ion nitriding；glow discharge nitriding

在低于1×10^5Pa（通常是$10\sim10^{-1}$Pa）的渗氮气氛中，利用工件（阴极）和阳极之间产生的等离子体进行的渗氮。

9.5 一段渗氮 single stage nitriding

在一定温度和一定氮势下进行的渗氮。

9.6 多段渗氮 multiple stage nitriding

在两个或两个以上的温度和多种氮势条件下分别进行渗氮。

9.7 退氮 denitriding

为使渗氮表层去除过多的氮而进行的工艺过程。

9.8 氮化物 nitride

氮与金属元素形成的化合物。碳钢渗氮时常见的氮化物有γ'-Fe_4N、ε-$Fe_{(2\text{-}3)}N$、ζ-Fe_2N等。

9.9 氨分解率 ammonia dissociation

气体渗氮时，通入炉中的氨分解为氢和活性氮原子的程度，一般以百分比来表示。在一定渗氮温度下，氨分解率取决于供氨量。供氨愈多，分解率愈低，工件表面氮含量愈高。供氨量固定时，温度愈高，分解率愈高。氨分解率是渗氮的重要工艺参数。

9.10　氮势　nitrogen potential

表征渗氮气氛在一定温度下向工件提供活性氮原子能力的参数，通常通过调整氨分解率进行监控，氨流量愈大，氨分解率愈低，气氛氮势愈高。

9.11　渗氮层深度　nitrided case depth；nitriding depth

渗氮层包括化合物层（白亮层）和扩散层，其深度从工件表面测至基体组织有明显的分界处或规定的界限硬度值处的垂直距离，以 D_N 表示。

9.12　复合氮化物　complex nitride

两种或多种元素（通常是金属元素）与氮构成的化合物。

9.13　氮化物形成元素　nitride forming element；nitride former

钢中与氮的化学亲和力比铁高的合金元素。

9.14　渗氮白亮层　nitride layer；white layer

渗氮工件表层以 $\varepsilon\text{-}Fe_{(2\text{-}3)}N$ 为主的白亮层，也叫化合物层。

9.15　空白渗氮　blank nitriding

在既不增加氮又不脱氮的中性介质中进行的与渗氮热循环相同的试验。目的是了解按这种热循环渗氮后工件心部组织和力学性能是否能满足预定的要求。

10　渗其他非金属及渗金属类

10.1　渗硼　boriding；boronizing

将硼渗入工件表层的化学热处理工艺，其中包括用粉末或颗粒状的渗硼介质进行的固体渗硼，用熔融渗硼介质进行的液体渗硼，在电解的熔融渗硼介质中进行的电解渗硼，用气体渗硼介质进行的渗硼。

10.2　离子渗硼　plasma boriding；ion boriding；glow discharge boriding

在低于 1×10^5Pa（通常是 $10\sim10^{-1}$Pa）的渗硼气体介质中，利用工件（阴极）和阳极之间产生的等离子体进行的渗硼。

10.3　硼化物层　boride layer

渗硼过程中在工件表面形成的硼的化合物。

10.4　渗硅　siliconizing

将硅渗入工件表层的化学热处理工艺。其中包括用粉末渗硅介质进行的固体渗硅，用气体渗硅介质进行的渗硅。

10.5　渗硫　sulphurizing

将硫渗入工件表层的化学热处理工艺。

10.6　渗金属　diffusion metallizing；metal cementation

工件在含有被渗金属元素的渗剂中加热到适当温度并保温，使这些元素渗入表层的化学热处理工艺。其中包括渗铝、渗铬、渗锌、渗钛、渗钒、渗钨、渗锰、渗锑、渗铍和渗镍等。

10.7　离子渗金属　ion infiltration of metal

工件在含有被渗金属元素的等离子场中加热到较高温度，金属原子以较高速率在表面沉积并向内部扩散的工艺。

11　共渗类

11.1　多元共渗　multicomponent thermochemical treatment

将两种或多种元素同时渗入工件表层的化学热处理工艺。

11.2 碳氮共渗 carbonitriding

在奥氏体状态下同时将碳、氮渗入工件表层，并以渗碳为主的化学热处理工艺。

11.3 气体碳氮共渗 gas carbonitriding

在含碳、氮的气体介质中进行的碳氮共渗。

11.4 离子碳氮共渗 plasma carbonitriding；ion carbonitriding；glow discharge carbonitriding

在低于 1×10^5Pa（通常是 $10\sim10^{-1}$Pa）的含碳、氮气体中，利用工件（阴极）和阳极之间的等离子体进行的碳氮共渗。

11.5 氮碳共渗 nitrocarburizing

工件表层同时渗入氮和碳，并以渗氮为主的化学热处理工艺。在气体介质中进行的称气体氮碳共渗，在盐浴中进行的称液体氮碳共渗。

11.6 硫氮共渗 sulpho-nitriding

往工件表层同时渗入硫和氮的化学热处理工艺。

11.7 氧氮共渗 oxynitriding

渗氮介质中添加氧的渗氮工艺。

11.8 氧氮碳共渗 oxynitrocarburizing

氧参与渗入的氮碳共渗工艺。

11.9 铬铝共渗 chromoaluminizing

铬和铝同时渗入工件表层的化学热处理工艺。与此类同的有铬铝硅共渗、铬硼共渗、铬硅共渗、铬钒共渗、铝硼共渗和钒硼共渗。

12 表面处理及复合热处理类

12.1 激光熔覆 laser cladding

激光熔覆技术的原理是利用高能密度的激光束将具有不同成分、性能的合金与基材表面快速熔化，在基材表面形成与基材具有完全不同成分和性能的合金层的快速凝固过程。

12.2 激光冲击处理 laser shock processing

利用强脉冲激光束冲击金属工件表面，与工件表面涂敷的能量转化物质相互作用而诱导强冲击波，透入工件材料使之产生塑性形变强化的表面技术。可在工件表面产生深达1mm及以上的强化层和残余压应力层，从而大幅度改善工件的疲劳性能、断裂韧性以及应力腐蚀抗力等。

12.3 微弧氧化 micro-arc oxidation

一种直接在有色金属表面原位生长陶瓷膜的技术。微弧氧化陶瓷膜与基体结合牢固，结构致密，具有良好的耐磨、耐腐蚀、耐高温冲击和电绝缘等特性。

12.4 离子注入 ion implanting

将预先选择的元素原子电离，经电场加速，获得高能量后注入工件的表面改性工艺。

12.5 离子镀 ion plating

在真空条件下，利用气体放电使气体或被蒸发物质部分电离，并在气体离子或被蒸发物质离子的轰击下，将蒸发物质或其反应物沉积在基片上的方法。其中包括磁控溅射离子镀、反应溅射离子镀、空心阴极放电离子镀（空心阴极蒸镀法）、多弧离子镀（阴极电对金属弧离子镀）等。

12.6 盐浴沉积 salt bath deposition

钢件或模具在含有Cr、V、Nb等元素的高温硼砂盐浴中表面渗入这些元素形成碳化物耐磨层的工艺。

12.7 发蓝处理 bluing

发黑

工件在空气-水蒸气或化学药物的溶液中在室温或加热到适当温度，在工件表面形成一层蓝色或黑色氧化膜，以改善其耐腐蚀性和外观的表面处理工艺。

12.8　蒸汽处理　steam treatment

工件在过热的水蒸气中保持一定时间，以使其表面形成一层蓝黑色氧化膜的表面处理工艺。

12.9　磷化　phosphating

把工件浸入磷酸盐溶液中，在工件表面形成一层不溶于水的磷酸盐薄膜的处理工艺。

12.10　喷砂　sand blasting

以400~600kPa的压缩空气将砂粒高速喷射到工件的表面上，以清除工件表面的氧化皮和黏附物。为减少喷砂粉尘对环境和人体的危害，现多采用液体喷砂。

12.11　喷丸　shot peening

利用抛丸器或喷嘴将钢丸高速射向工件表面，以清除工件表面的氧化皮和黏附物。如抛射速度足够大，可在工件的表面形成压应力，达到提高工件疲劳强度的目的。

12.12　物理气相沉积　physical vapor deposition；PVD

在真空加热条件下利用蒸发、等离子体、弧光放电、溅射等物理方法提供原子、离子，使之在工件表面沉积形成薄膜的工艺。其中包括蒸镀、溅射沉积、磁控溅射以及各种离子束沉积方法等。

12.13　化学气相沉积　chemical vapor deposition；CVD

通过化学气相反应在工件表面形成薄膜的工艺。

12.14　等离子体增强化学气相沉积　plasma enhanced chemical vapor deposition；PECVD；plasma assisted chemical vapor deposition；PACVD

利用各种等离子体的能量促使反应气体离解、活化以增强化学反应的化学气相沉积。其中包括：射频放电等离子体化学气相沉积、微波等离子体化学气相沉积、ECR（电子回旋共振）微薄等离子体化学气相沉积、直流电弧等离子体喷射化学气相沉积等。

12.15　火焰沉积　combustion flame chemical vapor deposition；flame deposition

采用高温火焰加热，使反应气体离解、活化的化学气相沉积。

12.16　热丝辅助化学气相沉积　hot filament chemical vapor deposition；HFCVD

采用通电的灯丝加热反应气体的化学气相沉积。

12.17　电子束辅助热丝化学气相沉积　electron assisted hot filament CVD；EACVD

采用在灯丝和衬底间施加偏压的方法产生等离子体，提高沉积速率，改善薄膜材料质量的化学气相沉积。

12.18　激光辅助化学气相沉积　laser assisted chemical vapor deposition；LCVD

利用激光的热或光子能量效应使反应气体活化的化学气相沉积。其中包括：光化学气相沉积，光热解化学气相沉积等。

12.19　金属有机化合物化学气相沉积　metallo-organic chemical vapor deposition；MOCVD

利用金属有机化合物作为反应气体的化学气相沉积。

12.20　强流脉冲电子束辐照　high current pulsed electron beam irradiation

高能量密度的射束作用到材料表面时，入射能量瞬间聚积在材料表面的薄层中，被加热层的温度迅速升高，导致工件表层金属熔化、汽化及熔体喷发，形成非平衡组织结构，从而使材料的耐磨损、抗腐蚀及抗氧化等性能获得改善。

12.21　等离子喷涂　plasma spraying

利用非转移型电弧等离子体（等离子弧）为热源的热喷涂方法。采用气体产生并稳定等离子

弧的等离子喷涂方法，称为气稳等离子喷涂。采用液体产生并稳定等离子弧的等离子喷涂方法，称为液稳等离子喷涂。采用水产生并稳定等离子弧的等离子喷涂方法，称为水稳等离子喷涂。

12.22 热喷涂 thermal spraying

将熔融状态的喷涂材料，通过高速气流使其雾化喷射在零件表面上，形成喷涂层的金属表面加工方法。

12.23 盐浴氮碳共渗复合处理 quench polish quench；QPQ treatment

工件先在盐浴中进行氮碳共渗和氧化处理，经中间抛光后，再在氧化盐浴中处理，以提高工件耐磨性和耐蚀性的复合热处理工艺。

13 组织类

13.1 金相检验 metallographic examination

泛指对金属宏观组织及显微组织进行的检验。

13.2 相 phase

指金属组织中化学成分、晶体结构和物理性能相同的组分。其中包括固溶体、金属化合物及纯物质（如石墨）。

13.3 组织 structure

泛指用金相观察方法看到的由形态、尺寸不同和分布方式不同的一种或多种相构成的总体，以及各种材料缺陷和损伤的类型和形态。

13.4 宏观组织；低倍组织 macrostructure

金属试样的磨面经适当处理后用肉眼或借助放大镜观察到的组织。

13.5 显微组织 microstructure

将用适当方法（如侵蚀）处理后的金属试样的磨面或其复型或用适当方法制成的薄膜置于光学显微镜或电子显微镜下观察到的组织。

13.6 晶粒 grain

多晶体材料内以晶界分开、晶体学位向基本相同的小晶体。

13.7 晶界 grain boundary

多晶体材料中相邻晶粒的界面。相邻晶粒晶体学位向差小于10°的晶界称为小角晶界；相邻晶粒晶体学位向差较大的晶界称为大角晶界。

13.8 相界面 interphase boundary

相邻两种相的分界面。两相的点阵在跨越界面处完全匹配者称为共格界面，部分匹配者称为半共格界面，基本不匹配者称为非共格界面。

13.9 亚晶粒 subgrain

晶粒内相互间晶体学位向差很小（$<3°$）的小晶块。亚晶粒之间的界面称为亚晶界。

13.10 晶粒度 grain size

意指多晶体内晶粒的大小。可用晶粒号、晶粒平均直径、单位面积或单位体积内的晶粒数目定量表征。

13.11 晶粒号 grain size number

由美国材料与试验协会（ASTM）制定，并被世界各国采用的一种表达晶粒大小的编号。晶粒号（N）与放大100倍的视野上每平方英寸（1英寸=25.4mm）面积内的晶粒数（n）之间的关系为$n=2^{N-1}$。实际检验时一般采用放大100倍的组织与标准晶粒号图片对比的方法判定。

13.12 树枝晶组织 dendritic structure

金属铸件或锻件中呈树枝状分布的晶体（晶粒）。

13.13　纳米晶　nano-crystalline

是指晶粒尺寸在纳米级的多晶体。由于晶粒极细，大量的原子位于晶粒之间的界面上，这种独特的结构特征使纳米晶体在化学、物理、力学性能等方面成为不同于普通多晶体和非晶态合金的一种新型材料，其界面成了一种不可忽视的结构组元。获得纳米晶的制备过程称为纳晶化过程。

13.14　共晶组织　eutectic structure

金属凝固时，从液相同时析出，紧密相邻的两种或多种固相构成的铸态组织。

13.15　共析组织　eutectoid structure

固态金属自高温冷却时，从同一母相中同时析出，紧密相邻的两种或多种不同的相构成的组织。

13.16　针状组织　acicular structure

含有一种（或多种）针状相的组织。

13.17　片层状组织　lamellar structure

两种或多种薄层状相交替重叠形成的共晶组织、共析组织及其他组织。

13.18　α 铁　α-iron

在 912℃ 以下稳定存在，晶体结构为体心立方的纯铁。

13.19　γ 铁　γ-iron

在 912～1 390℃ 稳定存在，晶体结构为面心立方的纯铁。

13.20　铁素体　ferrite

α 铁中溶入一种或多种溶质元素构成的固溶体。

13.21　奥氏体　austenite

γ 铁中溶入碳和（或）其他元素构成的固溶体。它是以英国冶金学家 R. Austen 的名字命名的。

13.22　过冷奥氏体　super cooled austentite

在共析温度以下存在的奥氏体。

13.23　渗碳体　cementite

晶体结构属于正交系，化学式为近似 Fe_3C 的间隙化合物。是钢和铸铁中常见的固相。

13.24　碳化物　carbide

钢铁中碳与一种或数种金属元素构成的化合物的总称。两种金属元素与碳构成的化合物称为三元碳化物或复合碳化物，如 $(Fe、Cr)_3C$、$(Cr、Fe)_7C_3$ 等。3 种或更多种金属元素与碳构成的化合物 $(Fe、Mn、W、V)_3C$、$Fe_3(W、Mo)_3C$ 等只能被称为复合碳化物。

13.25　ε-碳化物　ε-carbide

密排六方结构，化学式为 $Fe_{2.4}C$ 的过渡型碳化物。

13.26　χ 碳化物　χ-carbide

黑格碳化物　Hägg carbide

高碳钢中的片状马氏体回火析出的一种过渡型碳化物。晶体结构属单斜系，化学式为 Fe_5C_2。

13.27　珠光体　pearlite

铁素体薄层（片）与碳化物（包括渗碳体）薄层（片）交替重叠组成的共析组织。

13.28　珠光体领域　pearlite colony

诸铁素体、碳化物薄片位向大致相同的一个珠光体团所占的空间。

13.29　索氏体　sorbite

在光学金相显微镜下放大 600 倍以上才能分辨片层的细珠光体。它是以英国冶金学家 H. C. Sorby 的名字命名的。

13.30 屈氏体 troostite

托氏体

在光学金相显微镜下已无法分辨片层的极细珠光体。它是以法国金相学家 L. Troost 的名字命名的。

13.31 马氏体 martensite

钢铁或非铁金属中通过无扩散共格切变型转变（马氏体转变）形成的产物统称马氏体。钢铁中马氏体转变的母相是奥氏体，由此形成的马氏体化学成分与奥氏体相同，晶体结构为体心正方，可被看作是过饱和 α 固溶体。主要形态是板条状和片状。它是以德国冶金学家 A. Martens 的名字命名的。

13.32 莱氏体 ledeburite

铸铁或高碳高合金钢中由奥氏体（或其转变的产物）与碳化物（包括渗碳体）组成的共晶组织。它是以德国冶金学家 A. Ledebur 的名字命名的。

13.33 石墨 graphite

碳的一种同素异构体，晶体结构属于六方系，是铸铁中常出现的固相。其空间形态有片状、球状、团絮状、蠕虫状等。

13.34 先折相 pro-eutectoid phase

固溶体发生共析转变前析出的固相。例如先析铁素体，先析碳化物等。

13.35 脱溶物 precipitate

过饱和固溶体中形成的溶质原子偏聚区（如铝铜合金中的 GP 区）或化学成分及晶体结构与之不同的析出相（例如铝铜合金人工时效时形成的 $CuAl_2$）。

13.36 弥散相 dispersed phase

从过饱和固溶体中析出或在化学热处理渗层中形成以及在其他生产条件下形成的细小、弥散分布的固相。

13.37 贝氏体 bainite

钢铁奥氏体化后，过冷到珠光体转变温度区与 *Ms* 之间的中温区等温，或连续冷却通过这个中温区时形成的组织。这种组织由过饱和 α 固溶体和碳化物组成。它是以美国冶金学家 E. C. Bain 的名字命名的。

13.38 上贝氏体 upper bainite

在贝氏体转变区较高的温度范围内形成的贝氏体。其典型形态是以大致平行、碳轻微过饱和的铁素体板条为主体，短棒状或短片状碳化物分布于板条之间。在含硅、铝的合金钢中碳化物全部或部分被残留奥氏体所取代。

13.39 下贝氏体 lower bainite

在贝氏体转变区较低的温度范围内形成的贝氏体。其主体是双凸透镜片状碳过饱和铁素体，片中分布着与片的纵向轴呈 55°~65°角平行排列的碳化物。

13.40 残留奥氏体 retained austenite

工件淬火冷却至室温后残存的奥氏体。

13.41 组织组分 structural constituent

金属显微组织中具有同样特征的部分。例如退火态亚共析钢中的铁素体、珠光体。

13.42 魏氏组织 widmanstätten structure

组织组分之一，呈片状或针状沿母相特定晶面析出的显微组织。是以从铁-镍陨石中发现这种组织的奥地利矿物学家 A. J. Widmanstätten 的名字命名的。

13.43 带状组织 banded structure

金属材料中两种组织组分呈条带状沿热变形方向大致平行交替排列的组织。例如钢材中的铁素体带-珠光体带，珠光体带-渗碳体带等。

13.44 粒状珠光体 globular pearlite

碳化物呈颗粒状弥散分布于铁素体基体中的珠光体。

13.45 亚组织 substructure

亚结构

单个晶体或晶粒内部呈网络状的间界。它是比显微组织细一级的组织，例如位错、层错、微细孪晶等。

13.46 位错 dislocation

晶体中常见的一维缺陷（线缺陷）。在透射电子显微镜下金属薄膜试样的衍衬像中表现为弯曲的线条。

13.47 层错 stacking fault

面心立方、密排六方、体心立方等常见金属晶体中密排晶面堆垛层次局部发生错误而形成的二维晶体学缺陷（面缺陷）。在透射电子显微镜下的金属薄膜试样衍衬像中表现为弯曲的线条。

13.48 位错塞积 dislocation pile up

滑动中的位错列在领先位错受阻时形成塞积的现象，在透射电子显微镜下金属薄膜试样衍衬像中表现为接近平行排列的短弧线。

13.49 空位 vacancy

晶体结构中原子空缺的位置。属于零维晶体学缺陷。

13.50 织构 texture

金属中诸晶粒晶体学位向接近一致的组织。

13.51 母相 parent phase

由之转变为新相的原始相。

13.52 二次马氏体 secondary martensite

工件回火冷却过程中残留奥氏体发生转变形成的马氏体。

14 热处理缺陷类

14.1 氧化 oxidation

工件加热时，介质中的氧、二氧化碳和水蒸气等与之反应生成氧化物的过程。

14.2 内氧化 internal oxidation

工件加热时介质中生成的氧沿工件表层的晶界向内扩散，发生合金元素晶界氧化的过程。

14.3 脱碳 decarburization

工件加热时介质与工件中的碳发生反应，使表层含碳量降低的现象。

14.4 炭黑 soot

热处理时附着在工件、夹具、炉壁表面形成的非晶态碳。

14.5 淬火冷却开裂 quenching crack

淬火冷却时工件中产生的内应力超过材料断裂强度，在工件上形成裂纹的现象。

14.6 淬火冷却畸变 quenching distortion

工件原始尺寸或形状于淬火冷却时发生的变化。

14.7 淬火冷却应力 quenching stress

工件淬火冷却时，因不同部位出现瞬间温差及组织转变不同步而产生的内应力。

14.8 热应力 thermal stress

工件加热和（或）冷却时，由于不同部位出现温差而导致热胀和（或）冷缩不均所产生的应力。

14.9 相变应力 transformation stress

热处理过程中因工件不同部位组织转变不同步而产生的内应力。

14.10 残余应力 residual stress；internal stress

工件在各部位已无温差且不受外力作用的条件下存留下来的内应力。

14.11 热处理畸变 distortion

工件的原始尺寸或形状在热处理（淬火、深冷处理和回火）时发生的变化。

14.12 软点 soft spot

工件淬火硬化后，表面硬度偏低的局部小区域。

14.13 过烧 burning

工件加热温度过高，致使晶界氧化和部分熔化的现象。

14.14 过热 overheating

工件加热温度偏高而使晶粒过度长大，以致力学性能显著降低的现象。

14.15 氢脆 hydrogen embrittlement

工件因吸收或残留有氢而导致韧度降低和延时断裂强度降低的现象。

14.16 白点 flak；white spot

工件中的氢呈气态析出引起的一种缺陷。在纵向断口上表现为接近圆形或椭圆形的银白色斑点；在侵蚀后的宏观磨片上表现为发裂。

14.17 黑色组织 black structure

含铬、锰、硅等合金元素的渗碳工件渗碳淬火后可能出现的缺陷组织，在光学金相显微镜下呈断续的黑色网，是内氧化的结果。

14.18 网状碳化物组织 carbide network

工件表层中碳化物沿奥氏体晶界呈网状析出而形成的缺陷组织。

14.19 σ 相脆性 σ-embrittlement

高铬合金钢因析出 σ 相而引起的脆化现象。

14.20 回火脆性 temper embrittlement

工件淬火后在某些温度区间回火产生韧性下降的现象。回火脆性通常分为不可逆回火脆性和可逆回火脆性。

14.21 不可逆回火脆性 irreversible temper embrittlement

第一类回火脆性

钢件淬火后在 300°C 左右的温度区间回火后出现韧性下降的现象。已产生这类脆性的钢件置于更高温度回火后，其脆性逐渐消失，再在 300°C 左右温度回火，脆性不再出现。

14.22 可逆回火脆性 reversible temper brittleness

第二类回火脆性

含有铬、锰、镍等元素的合金钢工件淬火后，在脆化温度区（400～550℃）回火，或在更高温度回火后缓慢冷却所产生的脆性，这种脆性可通过高于脆化温度的再次回火并快速冷却予以消除。消除后，若再次在脆化温度区回火或在更高的温度回火后缓慢冷却，则重新脆化。

第二节　热处理工艺材料术语

一、概论

1. 制定本标准的必要性

科学名词术语是科学与工程领域的语言符号，是科技交流和知识传播的工具，在科技发展和社会进步中起着重要作用。热处理工艺材料品种繁多，涉及面很广，在热处理领域使用非常广泛，是实现热处理工艺的物质条件，其范围从加热介质到淬火冷却介质，从热处理保护涂料到热处理常用气氛，从化学热处理渗剂到表面改性材料等。对名目繁多，应用广泛的热处理工艺材料，统一名称，并建立相应国家术语对照标准，是促进国内外技术交流与国际贸易所迫切需要的。

2. 国内外概况

在工业发达的国家，如美、德、日、法等有相关的热处理名词术语标准，如德国有 DIN 17014：1988《钢铁材料热处理概念》，日本有 JIS B 6905：1995《金属制品热处理用语》，国际材料热处理与表面工程联合会也制定了四国文字对照的《热处理术语》，但直接涉及热处理工艺材料的名词词条不多。我国有 GB/T 7232《金属热处理工艺术语》及热处理专业标准、全国科学技术名词审定委员会公布的《机械工程名词（二）》及覆盖层有关标准中有少部分热处理工艺材料名称术语词条，但只有 GB/T 8121—2002《热处理工艺材料术语》较全面。我们在 GB/T 8121—2002 的基础上，参考上述标准中有关的词条及相关的词典、手册（如《机械工程手册》、《热处理手册》、《表面工程手册》、日本《钢铁热处理用词词典》、苏联《金属及热处理词典》、美国《金属手册》）等资料，对该标准进行了修订。该标准制定于 1987 年，并于 2002 年进行了第 1 次修订，再次修订完成于 2012 年。

3. 本标准修订的原则

（1）收入本标准的名词术语只限于与热处理工艺直接相关、基础的、常用的、重要的工艺材料名词术语。热处理前处理与后处理用的材料与辅助材料术语未列入，如脱脂剂、防锈剂等，但在表面处理中经常使用且与热处理工艺密切相关的材料术语本标准也有收入，如发蓝剂等。

（2）术语的定义（或含义），尽量采用国际上已采用的标准定义或参考有关文献、词典、并尽量与 GB/T 7232—2012《金属热处理工艺　术语》保持一致。

（3）术语中文名称，以科学性为主，适当照顾使用习惯。

二、标准应用说明

1. 增加的内容

本标准与原标准比较，增加了总类及部分词条，并由 8 章改为 9 章。随着表面改性技术的快速发展，表面改性材料也不断涌现，为了适应新技术发展的需要，本标准新增了第 9 章表面改性材料。由于本标准是初次涉及，本章只增加了两个最基本的表面改性材料词条，激光表面熔覆材料（9.1）和离子注入材料（9.2）。

2. 术语的定义

术语的定义（或含义），尽量采用国际上已确定的标准定义或参考有关文献、字典，并尽量与其他相关国家标准一致。如可控气氛（3.9）、吸热式气氛（3.10）、放热式气氛（3.11）、放热-吸热式气氛（3.12）、滴注式气氛（3.13）、氮基气氛（3.14）、直生式气氛（3.15）等词条在词意解释上与 GB/T 7232—2012《金属热处理工艺　术语》保持一致。

3. 习惯用语的处理

对能表达某一定义又不够确切的习惯用语，但还有一定对照意义时，则列为同义词，如脱氧剂即是盐浴校正剂，本标准把它们按俗称一并列出。

4. 几个名词术语的说明

（1）氧化剂与还原剂的含义。按化工词典中的广义含义，分别定义为能失去氧而从另一化合物中夺取氢或获得电子的物质与能夺取氧化物中的氧，或在化学反应中失去电子的元素和化合物。故将氧化剂与还原剂分别定义为在给定温度下，使工件表面产生氧化膜或氧化层的介质与在给定温度下，使工件表面的氧化膜通过还原反应发生分解的介质（标准中的4.7与4.9）。

（2）流态床淬火介质。我国对流态床的叫法很不一致，如流态化床、流动粒子炉、沸腾层炉、浮动粒子炉等。考虑到这种装置特点是借助于气体的流动，使固体颗粒悬浮于气流中，并非真正的沸腾状态，因而统一称为流态床。相应的淬火用材料叫流态床淬火介质，定义为由气流和悬浮的固体颗粒构成的流态床淬火物质（标准中的7.13）。

（3）致冷剂。“冷”与“热”是相对的，致冷剂中“冷”字意义至少是指室温以下。而实际上热处理中的“冷处理”是在远低于室温（一般在 -78°C 左右，甚至达 -196°C）下进行冷却。致冷剂的含义是，使淬火工件冷却至低于0°C或更低温度（如 -78 ~ -196°C）所使用的介质（标准中7.14）。

术语标准的制订是一项基础性工作，不可避免地存在一些不足，甚至偏差。现在公布名词术语和定义只能反映当前的技术水平，随着热处理技术的发展，还将适时修订。（武汉材料保护研究所张良界供稿）

三、标准内容（GB/T 8121—2012）

热处理工艺材料 术语

1 范围

本标准规定了与热处理有关的加热介质、淬火冷却介质、化学热处理渗剂、热处理保护涂料等热处理工艺材料主要名语术语、定义及英文对照。

本标准适用于热处理专业技术相关标准及技术文件等。

2 总类

2.1 热处理工艺材料 technological materials for heat treatment

为了保证对金属材料或工件（以下简称工件）进行加热、保温、冷却及化学热处理等工艺过程的实施，使其获得预期的化学成分、组织结构与性能以及表面状态所需要的各类物质。

2.2 加热介质 heating medium

工件进行加热、保温所使用的吸收、传递热能的物质。如各种气氛、盐类、碱类或金属浴，以及油和其他一些固态颗粒物质等。

2.3 淬火冷却介质 quenching medium

工件进行淬火冷却所使用的吸收、传递热能的物质。如水和水溶性盐类、碱类或有机物的水溶液，以及油、熔盐、氮气、氩气、空气等。

2.4 化学热处理渗剂 thermo-chemical treatment agent

在给定温度下能产生一种或几种活性原子，并能渗入工件的表层以改变其化学成分、组织结构和性能的化学热处理工艺所使用的物质。

2.5 热处理保护涂料 protective paints for heat treatment

在给定温度下，能保护被加热工件表面不发生氧化、脱碳或其他化学成分变化的涂料。如防氧化，防渗碳、防渗硼涂料等。

2.6　表面改性材料　surface modification material

以等离子体、激光、电子束、离子束等技术，对工件表面改性使用的物质。

3　热处理常用气氛类

3.1　保护气氛　protective atmosphere

在给定温度下，能保护被加热工件表面不氧化、不脱碳或其他化学成分不发生变化的气氛。

3.2　活性气氛　active atmosphere

在给定温度下，能与工件表面发生化学反应的气氛。

3.3　中性气氛　neutral atmosphere

在给定温度下，不与被加热工件发生氧化或还原、脱碳或渗碳反应的气氛。

3.4　惰性气氛　inert atmosphere

化学性质极不活泼，一般不与其他物质反应的气氛。如氩、氖、氦等。

3.5　还原气氛　reducing atmosphere

在给定条件下，可使金属氧化物还原的气氛。

3.6　氧化气氛　oxidizing atmosphere

在给定温度下，与被加热工件发生氧化反应的气氛。

3.7　渗碳气氛　carburizing atmosphere

在给定温度下，使工件表面增加碳含量的气氛。

3.8　渗氮气氛　nitriding atmosphere

在给定温度下，使工件表面增加氮含量的气氛。

3.9　可控气氛　controlled atmosphere

成分可按氧化-还原、增碳-脱碳效果控制的炉中混合气体。

3.10　吸热式气氛　endothermic atmosphere

将燃料气和空气以一定比例（$\alpha=0.2\sim0.4$）混合，在一定的温度于催化剂作用下通过吸热反应裂解生成的气氛。可燃、易爆，具有还原性。一般用作工件的无脱碳加热介质或渗碳时的载气。

3.11　放热式气氛　exothermic atmosphere

将燃料气和空气以接近完全燃烧的比例（$\alpha=0.55\sim0.95$）混合，通过燃烧、冷却、除水等过程而制备的气氛。根据 H_2、CO 的含量可分为浓型和淡型两种。

3.12　放热-吸热式气氛　exo-endothermic atmosphere

用吸热式气氛发生器原理制备，吸热式气氛的热源是放热式的燃烧。燃烧的产物添加少量燃料即可进行吸热式反应。

3.13　滴注式气氛　drip feed atmosphere

把含碳有机液体定量滴入到处于一定温度、密封良好的炉内，在炉内直接裂解形成的气氛。

3.14　氮基气氛　nitrogen-based atmosphere

一般指含氮在90%以上的混合气体、净化放热式气氛、氨燃烧净化气氛、空气液化分馏氮气，用碳分子筛常温空气分离氮和薄膜空分制氮的气氛。一般需添加少量甲醇裂解气氛以消除残余影响的气氛。氮基气氛可用作工件无氧化加热保护气氛，也可用作渗碳载气。

3.15　直生式气氛　direct prepared atmosphere

将燃料气和空气按吸热式气氛的比例配好，直接通入渗碳炉中，在炉内裂解成所需成分的气氛。

3.16 氨分解气氛 dissociated ammonia

液氨在一定温度于催化剂作用下裂解成含氢75%和氮25%的混合气氛。

3.17 氨燃烧气氛 burned ammonia

氨气在催化剂作用下接近完全燃烧后除水含氮在98%以上的气氛。

3.18 富化气 enrich gas

通常为了增加气氛的碳势而加入的富碳气体（或滴入可在高温裂解的有机液体）。

3.19 载气 carrier gas

作为化学热处理的载运活性组分的稀释气体。

4 热处理盐浴用盐类

4.1 低温盐 salt for low-temperature bath

使用温度低于600℃的混合盐。如硝酸盐、亚硝酸盐或其混合盐。

4.2 中温盐 salt for medium-temperature bath

使用温度在650～950℃之间的混合盐。

4.3 高温盐 salt for high-temperature bath

使用温度在950℃以上的混合盐。

4.4 盐浴校正剂 rectifier

脱氧剂 deoxidant；deoxidizer

为除去盐浴中的氧化物而加入对氧或氧化物有高亲和力或对其有还原作用的物质。

4.5 中温盐浴校正剂 medium-temperature salt bath rectifier

中温盐浴脱氧剂 medium-temperature salt bath deoxidizer

使用温度在650～950℃之间的盐浴校正剂。

4.6 高温盐浴校正剂 high-temperature salt bath rectifier

高温盐浴脱氧剂 high-temperature salt bath deoxidizer

使用温度在950℃以上的盐浴校正剂。

4.7 氧化剂 oxidizer；oxidizing agent

在给定温度下，使工件表面产生氧化膜或氧化层的介质。

4.8 发蓝剂 bluing agent

在给定温度下，能在钢铁表面生成以四氧化三铁（Fe_3O_4）为主要成分氧化膜的碱性溶液。

4.9 还原剂 reducing agent

在给定温度下，使工件表面的氧化膜通过还原反应发生分解的介质。

4.10 中性盐 neutral salt

在给定温度下，在盐浴中主要起传热作用，一般不与工件发生化学反应的盐。

4.11 覆盖剂 coverture agent

为避免氧化或减少热损失，覆盖在熔融金属或盐浴液面上的物质。

5 渗碳剂、渗氮剂及其共渗剂类

5.1 渗碳剂 carburizer；carburizing agent

在给定条件下能将其中的碳渗入工件表层的介质。

5.2 固体渗碳剂 pack carburizer；solid carburizer；solid carburizing compound

由供碳剂及催渗剂等组成，在渗碳过程中能产生活性碳原子的固体介质。

5.3 膏体渗碳剂 carburizing paste

由供碳剂、催渗剂及粘结剂组成，在渗碳过程中能产生活性碳原子的膏剂。

5.4　盐浴渗碳剂　salt bath carburizer

液体渗碳剂　liquid carburizer

含有能产生活性碳原子组分的渗碳混合盐。

5.5　气体渗碳剂　gas carburizer

含有富碳组分，在渗碳过程中能产生活性碳原子的气体介质。

5.6　滴注渗碳剂　drip feed carburizer

直接滴入一定温度的渗碳炉中，裂解能产生渗碳气氛的有机液体。

5.7　催渗剂　energizer

活化剂　activator

在化学热处理过程中，为了增加渗剂的活性，加快化学反应而加入的化学物质。

5.8　渗氮剂　nitriding agent

在给定温度下，能产生活性氮原子使工件渗氮的介质。

5.9　液体渗氮剂　liquid nitriding agent

盐浴渗氮剂　salt bath nitriding agent

含有能产生活性氮原子组分的渗氮混合盐。

5.10　气体渗氮剂　gas nitriding agent

含有富氮组分，在渗氮过程中能产生活性氮原子的气体介质。

5.11　碳氮共渗剂　carbonitriding agent

含有富碳、富氮组分，在给定温度下能产生活性碳、氮原子使工件实现碳氮共渗，并以渗碳为主的介质。

5.12　液体碳氮共渗剂　liquid carbonitriding salt

盐浴碳氮共渗剂　salt bath carbonitriding agent

在碳氮共渗温度下，含有能产生活性碳、氮原子组分的碳氮共渗混合盐。

5.13　气体碳氮共渗剂　gas carbonitriding agent

含有富碳、富氮组分，在碳氮共渗温度下，能产生活性碳、氮原子的气体介质。

5.14　氮碳共渗剂　nitrocarburizing agent

含有富氮、富碳组分，在给定温度下能产生活性氮、碳原子使工件实现氮碳共渗，并以渗氮为主的介质。

5.15　液体氮碳共渗剂　liquid nitrocarburizing agent

盐浴氮碳共渗剂　salt bath nitrocarburizing agent

含有富氮、富碳组分，在氮碳共渗温度下，含有产生活性氮、碳原子的氮碳共渗混合盐。

5.16　气体氮碳共渗剂　gas nitrocarburizing agent

含有富氮、富碳组分，在氮碳共渗温度下，能产生活性氮、碳原子的气体介质。

5.17　硫氮共渗盐　sulpho-nitriding salt

在给定温度下，能产生活性硫、氮原子的混合盐。

5.18　硫氮碳共渗剂　sulphonitrocarburizing agent

在给定温度下，能产生活性硫、氮、碳原子的共渗盐，通常由基盐（工作盐浴）和再生盐组成。

5.19　气体硫氮碳共渗剂　sulphonitrocarburizing gas

在给定温度下，含有能产生活性硫、氮、碳原子组分的混合气氛。

5.20　渗硫盐　sulphurizing salt

在给定温度下，能产生活性硫原子将硫渗入工件表面层的混合盐。

5.21 氧氮共渗剂 oxynitriding agent

在给定温度下，能进行氧氮共渗的混合介质。

5.22 氧氮碳共渗剂 oxynitrocarbruizing agent

在给定温度下，能进行氧氮碳共渗的混合介质。

5.23 基盐 base salt

在给定温度下，能在盐浴氮碳共渗盐浴中产生活性氮、碳元素的混合盐。

5.24 再生盐 regeneration salt

调整盐

调整盐浴成分，使老化的化学热处理盐浴恢复活性的添加（再生）盐。

5.25 氧化盐 oxidizing salt

在给定温度下，能在盐浴氮碳共渗工件表面产生氧化反应的混合盐。

6 渗其他非金属剂与渗金属剂及其共渗剂类

6.1 渗硼剂 boriding agent；boronizing agent

在给定温度下，能产生活性硼原子的介质。

6.2 固体渗硼剂 pack boronizing agent；solid boronizing agent

由供硼剂、催渗剂及填充剂组成，在渗硼过程中能产生活性硼原子的固体（粉末状或粒状）介质。

6.3 膏体渗硼剂 boronizing paste

膏状渗硼剂

由供硼剂、催渗剂、填充剂及粘结剂等组成，在渗硼过程中能产生活性硼原子的膏剂。

6.4 熔盐渗硼剂 molten bath boronizing agent

液体渗硼剂 liquid boronizing agent

由供硼剂、中性盐及催渗剂或以硼砂为基，添加其他成分所组成的渗硼用混合盐。

6.5 渗硅剂 siliconizing agent

由供硅剂、中性盐及催渗剂或以硼砂为基，添加其他成分所组成的渗硼用混合盐。

6.6 渗铝剂 aluminizing agent

在给定温度下，渗铝过程中能产生活性铝原子的介质。

6.7 固体渗铝剂 pack aluminizing agent；solid aluminizing agent

由供铝剂、催渗剂及填充剂所组成，在渗铝过程中，能产生活性铝原子的固体介质。

6.8 热浸铝浴 aluminium dipping baths

热浸镀铝浴

在给定温度下，能使工件表面形成铝及铝合金的熔融铝浴。

6.9 固体渗铬剂 pack chromizing agent

由供铬剂、催渗剂与填充剂所组成，在渗铬过程中，能产生活性铬原子的固体（粉末状或粒状）介质。

6.10 气体渗铬剂 gas chromizing agent

由气体及其他组分组成，在渗铬过程中，能产生活性铬原子的气体介质。

6.11 固体渗锌剂 sherardizing agent

由锌粉或添加催渗剂与填充剂所组成的，能产生活性锌原子的介质。

6.12 热浸锌浴 zinc dipping baths

热浸镀锌浴

在给定温度下，能使工件表面形成锌及锌合金层的熔融锌浴。

6.13　热浸金属浴　metallic dipping baths

在给定温度下，能使工件表面形成金属及合金层的熔融金属浴。

6.14　硼砂熔盐渗金属剂　borax bath metal agent

以硼砂为主要成分，分别加入含铬、钒、铌或钛等金属粉末及其化合物与还原剂所组成，并在给定温度下，能使工件渗金属的混合盐。

6.15　多元共渗剂　multicomponent diffusion agent

对工件进行两种以上元素共渗时所用的介质。

6.16　铬铝共渗剂　chromaluminizing agent

由含铬、铝的物质组成，在给定温度下，能产生活性铬、铝原子的介质。

6.17　硼铝共渗剂　boroaluminizing agent

由含硼和铝的物质所组成，在给定温度下，能产生活性硼、铝原子的介质。

6.18　铬铝硅共渗剂　chromaluminosiliconizing agent

由含铬、铝、硅的物质所组成，在给定温度下，能产生活性铬、铝、硅原子的介质。

6.19　填充剂　packing material

在装箱热处理时，能保护工件不氧化、减小变形、抗粘结及起稀释作用的粉末状或粒状材料。

7　淬火冷却介质类

7.1　无机盐水溶液淬火介质　inorganic salt solution quenching medium

用于淬火冷却的不同浓度无机盐（如氯化钠、氧化钙、硝盐及水玻璃等）的水溶液。

7.2　碱水溶液淬火介质　alkali solution quenching medium

用于淬火冷却的不同浓度碱的水溶液，如氢氧化钠等。

7.3　聚合物淬火剂　polymer quenchant

由有机聚合物加少量防腐剂、防锈剂及消泡剂而制成的水溶液淬火介质。

7.4　普通淬火油　conventional quenching oil

不含添加剂，用于工件淬火冷却的矿物油。

7.5　快速淬火油　fast quenching oil

为了改善普通淬火油冷却能力或其他性能，加入速冷剂等添加剂的淬火油。

7.6　真空淬火油　vacuum quenching oil

真空淬火使用的饱和蒸汽压极低、冷却能力稳定的特种油品。

7.7　光亮淬火油　bright quenching oil

含有光亮剂及抗氧化剂，用于淬火冷却的矿物油为基的油品。

7.8　回火油　tempering oil

加有抗氧化剂并具有高闪点的矿物油为基的油品。

7.9　贝氏体等温淬火介质　austempering medium

贝氏体等温淬火处理时的淬火介质。

7.10　马氏体分级淬火介质　marquenching medium

马氏体分级淬火处理时用的淬火介质。如分级淬火油、硝盐等。

7.11　淬火碱浴　alkali bath

用于淬火冷却的苛性碱水溶液。

7.12　气体淬火介质　gas quenching medium

用于工件淬火冷却的气体。如空气、氮气和氩、氦惰性气体等。

7.13　流态床淬火介质　fluidized bed quenching medium

由气流和悬浮的固体颗粒构成的流态床淬火物质。

7.14　致冷剂　sub-zero treatment agent

使淬火工件冷却于0℃或更低温度（如在－78～－196℃）所使用的介质。如固体CO_2（干冰）＋乙醇、干冰＋丙酮、低温空气、液氮或液氮蒸气等。

8　热处理保护涂料类

8.1　防氧化保护涂料　anti-oxidizer paint

防氧化涂料

涂敷于工件表面，保护加热工件不发生氧化的涂料。

8.2　高温保护涂料　high-temperature protective paint

由低温成膜材料、高温成膜材料、添加剂及粘结剂等按一定比例组成，能使高温（≥950℃）加热的工件防止氧化与脱碳的涂料。

8.3　防渗涂料　anti-diffusion paint

由阻渗剂、成膜剂、粘结剂及松散剂等组成，涂敷在工件局部，在化学热处理过程中起防渗作用的涂料。

8.4　防渗碳涂料　anti-carburizing paint

涂敷于工件局部（不需渗碳的部位），在渗碳过程中起防渗作用的涂料。

8.5　防渗氮涂料　anti-nitriding paint

涂敷于工件局部，在渗氮过程中起防渗作用的涂料。

8.6　防碳氮共渗涂料　anti-carbonitriding paint

涂敷于工件局部，在碳氮共渗过程中起防渗作用的涂料。

8.7　防渗硼涂料　anti-boronizing paint

涂敷于工件局部，在渗硼过程中起防渗作用的涂料。

8.8　防渗金属涂料　anti-metallizing paint

涂敷于工件局部，在渗金属过程中起防渗作用的涂料。

8.9　包装热处理保护材料　pack heat treatment material; package metal-foil heat treatment material

工件进行包装热处理时使用的包装材料，如不锈钢箔、耐热钢箔等。

9　表面改性材料类

9.1　激光表面熔覆材料　laser cladding material

用激光的方法将之熔化在金属表面，成为熔覆体主体合金的合金粉末。

9.2　离子注入材料　ion implantation material

用离子注入方法使金属表面陶瓷化和金刚石化，能提供离子注入所需各种元素的材料。

第三节　热处理设备术语

一、概论

长期以来，热处理设备名词术语，大多使用习惯用语或从外文直译或意译的中文名称，书籍、期刊互相引用，或叫法不一，或不尽合理。例如，用燃料加热的热处理炉，就有煤炉、油炉、煤气炉，用电加热的热处理炉有电炉、电阻炉、高频炉、感应炉、盐炉、盐槽、油槽等各种习惯名称。

一般书籍、文件、期刊中的热处理设备术语也多种多样，有的过于烦琐，有的又过于简化，使人无所适从。因此，统一热处理设备术语，加以科学扼要的解释，并与国外的常用术语加以对照，是十分必要的。

国内外有关热处理专业名词术语标准，目前都是以工艺为主制定的，其中也涉及一些热处理设备，可引申于设备名词术语。国外也缺少专门为热处理设备制定的名词术语标准。GB/T 2900.23—2008《电工术语　工业电热装置》，IEC 60050-841:2004《国际电工词汇 第 841 部分：工业电热》，英国 BS EN 4642:2009《工业炉名词术语》中都包括部分热处理电加热设备术语。

本标准制定于 1991 年，修订于 2006 年。

二、标准应用说明

1. 编写目的和指导思想

本标准是根据有关名词术语的定义或含义，统一热处理用主要设备的术语，以便在编制技术文件、资料、书刊、教材以及在翻译工作中参考使用。为达到上述目的，编写的指导思想主要是以科学性为主，兼顾习惯性。例如，长期使用的“多用炉”名词，只反映其可用于几种热处理工艺，应用范围较广的特点，但未反应其结构、性能特征以及在炉体内可实现淬火油冷等用途特点，概括得不很科学也不够全面。热处理设备术语范围很广，本标准不可能全部收入，原则上只选择主要的、广泛使用的以及容易引起误解、叫法多样、需要统一的术语。

2. 条文、技术内容确定的原则

（1）术语收入范围。本标准只收入热处理设备本身有关名词及与其相关的部件、性能术语，以及在其他标准中不可能包括的相关名词术语。设备使用的燃料、筑炉材料、控制仪表等名词术语应列入其他有关技术标准的范围，本标准未予收入。

（2）术语的中文名词。我国文字十分丰富，一种含义可用几种不同词组予以概括，术语不同，内容含义有可能差异很大。这就需要从科学意义上予以推敲选用。如流态床与流动粒子、沸腾层等术语，都曾在热处理名词中出现过。经分析认为，用流态床比较确切，但又不一定成为“床”，流态床是从英文原文翻译而来的。“粒子”也反映了这种技术的特点，因此采取流态粒子炉。将“床”换用“粒子”，更反映出设备的特点。此外，我国流行简略称谓的术语，如热处理设备常用的炉子、电炉等，虽然也可以使人们理解，但并不严谨，它们可概括各类不同的“炉子”或“电炉”，最好还是采用“热处理炉”或“电阻炉”较好。名词术语的中文名称不宜过分简略。

（3）术语的定义与含义。对于术语意义的解释，力求符合科学性、完整性，并力求文字叙述简练。例如，燃料炉、浴炉、电阻加热炉等术语内容包括范围很多，则在本条目中描述其主要特点后，附加上所属各不同类别的术语，以求简化。

（4）术语的中英对照。本标准采用中英对照，尽量采用了英文书籍、期刊、文献中常用的英文名称，尽量避免采用从中文含义硬性直译的英文名称。

（5）其他。本标准条目的编号序列、索引编排，参照已批准的 GB/T 7232《金属热处理工艺术语》的既定方式，以求统一。

3. 部分常用术语的说明

（1）热处理设备与热处理炉。热处理设备范围较大，热处理炉只包括加热工件的电炉和燃料炉，这是比较清楚的。未列入条目的“热处理装置”，按其含义，应指设备中构造较复杂并具有特定功能的设备。因此，可以认为“设备”包括范围较广泛，“装置”则包括范围较窄。

（2）炉室、加热室或炉膛与有效加热区。炉室包括热处理炉的内部空间及其周围结构，加热室或炉膛是指作为装载炉料和使之加热的整个空间，而有效加热区尺寸是指经温度检测后，确定的满

足热处理工艺规定的温度及其保温精度的工作空间尺寸。这 3 个术语依次逐个减小含义范围。这样就便于区分了。

（3）生产率。一般生产设备都应有一定的生产率，以反映其生产能力。本条叙述专指连续式炉的生产能力，主要是指典型零件在典型加热工艺条件下的生产能力，这才是确切的。但是，普通的间歇（周期）式炉，在一般的生产条件下生产某些品种零件，采取一定的热处理工艺，在一定的时间内的生产能力，也可以简称为生产率，也以单位时间内的产量表示。这种情况下的生产率最好用“平均生产率”表示。

（4）炉温均匀度与炉温稳定度。这两个术语都规定在试验温度下，反映热处理炉温度特点的指标，一般都在接近常规生产的一定温度下进行试验测定的，并非表明实际生产中炉子的真实均匀度和稳定度。在实际应用中，由于装炉量、操作、工艺、仪表等条件的变化，可能达不到在试验条件下的均匀度和稳定度。一般均匀度多以 ± 几摄氏度（℃）表示均匀程度，而稳定度只能表明其稳定程度的优劣，不能用数量表示。稳定度实际上可以用稳定性表示。

（5）炉罐。过去将热处理炉中密封或半密封的容器均称为马弗或马弗罐。这是从英文 Muffle 音译过来的，而炉罐（retort）应指完全可以密封的容器。

（6）间歇式炉。过去将非连续式炉称为周期式炉。实际上炉子是成批量装出炉、周期性生产，称为周期式炉也非不妥。但为了统一，名称定为间歇式炉。

（7）箱式炉。过去常用的箱形电阻炉称为箱式已十分通用。而呈箱式的燃料加热炉，习惯则称为室式炉，故不宜将这两种类似炉型统一为一个术语，对于燃料加热炉可仍称室式炉。

（8）台车式炉与车底式炉。这两种形式热处理炉都是用活动车式炉底。其区分在于，前者为一个台车，周期性生产；后者为多个小车，连续性生产。

（9）振底式炉。各种文献上分别出现“振底”与“震底”两种名词，“振”和“震”都可反映炉料经振动输送装置前进连续生产，为统一起见，建议一律用“振”字。

（10）箱式淬火炉。过去曾称为多用炉，其特征是箱式密封，有前室，炉料在炉体内完成淬火加热与冷却工艺，有较多种用途。

（11）自然气氛。不加控制的炉内气氛，过去多称空气气氛，实际上炉内气氛是炉料处理过程中所形成的与空气反应的气氛，不加人工控制自然形成的气氛，定名为自然气氛比较确切。

（12）真空离子轰击热处理炉。这种炉子的特点是在真空炉膛内炉料接阴极，容器接阳极通电，使通入的气体电离，在电场作用下轰击炉料表面进行渗氮、渗碳或渗入某种金属。这种炉型的全称概括为真空离子轰击热处理炉。根据应用的不同有真空离子渗碳炉和真空离子渗氮炉等。

（13）淬火冷却装置。淬火冷却一词是非常清楚的。一般将淬火冷却简称为淬冷也是合理的。但是长期以来，多数人习惯于将其简称为淬火，即含有淬火作业中冷却步骤的含义。淬火冷却槽、淬火冷却介质、淬火冷却各类装置等在文献中习惯用简称，此时用淬冷或淬火就有不同意见。“淬冷”在技术上是合理的，但要改变已形成普遍使用的简称“淬火”，则不太容易执行。为此本标准正式命名为淬火冷却，但可简称为“淬火”或“淬冷”，两者同时存在，以符合行之已久的习惯用术语。

4. 修订内容及说明

本标准修订时，参考了近年来国内外现有的热处理专业名语术语标准及电热设备标准，收集到的大部分资料都是以工艺为主制定的，其中也涉及一些热处理设备，可引申于设备名词术语，如 GB/T 2900. 23—1995《电工术语　工业电热设备》、IEC 60060-814:2004《国际电工词汇 第 841 部分：工业电热》和 BS EN 4642《工业炉名词术语》中都包括部分热处理电加热设备术语。鉴于《热处理设备术语》的制定是在 1991 年，近年来通过技术开发以及对引进技术的消化吸收，我国

热处理技术、热处理设备取得了长足的进步，热处理在提高产品质量、增强产品的市场竞争力方面发挥了应有的作用。随着我国制造业的快速发展和已经加入 WTO，应该对原标准的内容作一更新和补充。

在范围内增加了适用于编写和翻译专业手册、教材和书刊的内容，其目的是根据有关术语的定义或含义，统一热处理用主要设备的术语，在今后编制技术文件、编写资料、书刊以及在翻译工作中参考使用。

在修订过程中，尽管参考了 IEC 60050-814:2004《国际电工词汇 第841 部分：工业电热》等资料，但对照原标准删去和简化了其自身重复定义的词条及国外标准中已不出现的词条、与热处理设备无关的词条，并遵循原标准中凡是与 IEC 60050-814 内容一致的术语尽量直接采用国际标准的原则。

（1）增添了一些新的词条。补充了应用面日益扩大的设备词条及在文献中出现频率较高的词条。增添的新词条有：红外加热器、振底输送装置、真空炉、热壁真空炉、冷壁真空炉、间接电阻电热装置、等离子体加热、等离子体加热器、火焰加热装置等。

（2）原标准中凡是与 IEC 60050-814 内容一致的术语尽量直接采用。

（3）对原标准中的某些词条进行了重新定义。对于术语意义的解释更符合科学性、完整性，并力求文字叙述简练。重新定义的词条有：工作区尺寸、积蓄热、炉底、引出棒、真空电阻炉、露点分析仪等。

（4）词条名称的更新。用热处理行业约定俗成的叫法替换原标准中的词条名称，如控制气氛→可控气氛、浴槽→坩埚等。

（5）删除原标准中的部分内容，如内螺旋滚筒式炉、箱式淬火炉、浴炉、外热式浴炉、真空炉、热壁真空电阻炉、冷壁真空电阻炉、多（控制）区炉、螺线管感应器、热稳定性，燃煤烧嘴等（北京机电研究所马兰供稿）。

三、标准内容（GB/T 13324—2006）

热处理设备术语

1 范围

本标准规定了热处理专用设备术语。

本标准适用于制定标准、编制技术文件、编写和翻译专业手册、教材和书刊。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 2900.23—1995 电工术语 工业电热设备（neq IEC 60050-841:1983）

3 一般术语

3.1 热处理设备 heat treatment equipment

用于实现炉料各项热处理工艺的加热、冷却或各种辅助作业的设备。

3.2 热处理成套设备 complete set of heat treatment equipment

由一台或多台热处理炉和必要的冷却及其他辅助装置，按预定热处理工序布置的设备组合。

3.3 热处理炉 heat treatment furnace

供炉料热处理加热用的电炉或燃料炉。

3.4 燃料炉 fuel-fired furnace

以燃料燃烧作为热源，用于加热炉料的成套设备。按燃料不同可分为：燃气炉、燃油炉。

3.5 电热设备 electroheat equipment

为了使用的目的，将电能转换成热的设备。

3.6 电炉 electric furnace

具有炉室的电热设备。

4 热处理炉通用术语

4.1 一般术语

4.1.1 运行温度 operating temperature

工作温度 working temperature

电热设备在规定工艺过程中运行的温度。

4.1.2 有效加热区 working zone

经温度检测后，确定的满足热处理工艺要求的温度及其保温精度的工作空间尺寸。

4.1.3 生产率 production rate

连续式炉设计规定的在典型炉料和典型加热工艺条件下的生产能力，以单位时间内的产量表示。

4.1.4 最大装载量 maximum loading

间歇式炉设计规定的每一炉最多能装载的炉料重量，包括料筐、料盘或工夹具等的重量。

4.1.5 炉温均匀度 furnace temperature uniformity

炉子在试验温度下的热稳定状态时炉内温度的均匀程度。通常指在空炉情况时，在规定的各个测温点上所测的最高和最低温度分别与控温点上所测温度的差。

4.1.6 炉温稳定度 furnace temperature stability

炉子在试验温度下的热稳定状态时控温点温度的稳定程度。

4.1.7 积蓄热 accumulated heat

在加热过程中炉衬和其他构件所吸收的热量。

4.1.8 炉料 charge

在热处理炉中被处理的材料或工件。

4.2 零部件和构件

4.2.1 炉体 furnace body

承受热负荷，由炉壳、炉门、炉衬和炉内构件等组成的整体。

4.2.2 炉衬 furnace lining

衬在炉壳内部，由适用于炉子热负载的耐火、隔热、保温材料构成的组合体。

4.2.3 炉墙 furnace wall

炉室四周由耐火材料和保温材料构成的侧壁。

4.2.4 炉底 hearth

炉室内放置炉底板或直接承载炉料的底部。

4.2.5 炉底板 hearth plate

在炉底上承载炉料的板，通常用耐热的金属或非金属材料制成。

4.2.6 炉拱 arch

炉室的拱形顶部。

4.2.7　炉壳　furnace casing；furnace shell

包围在隔热材料和耐火材料外部，由钢架和钢板制成的炉子外壳。

4.2.8　炉架　furnace frame

支承或加固炉体的钢或混凝土的结构件。

4.2.9　炉室（炉膛）　furnace chamber

炉子的内部空间及其周围结构。

4.2.10　加热室　heating chamber

炉子中进行加热的空间。

4.2.11　冷却室　cooling chamber

位于加热区后的电炉结构部分，炉料通过该部分进行冷却或随后的热处理。

4.2.12　前室　front vestibule

炉料在进入加热室之前所经过的不加热的炉室。

4.2.13　观察孔　inspection hole

用于观察炉室内情况的孔。

4.2.14　炉口　furnace hatch

进出炉料的开口。

4.2.15　炉门　furnace door

遮盖或密封垂直（或略倾斜）炉口用的部件。

4.2.16　炉盖　furnace lid；furnace cover

遮盖或密封水平炉口用的部件。

4.2.17　炉门平衡机构　door counter balance

用配重来减少炉门启闭力的机构。

4.2.18　炉门（盖）启闭机构　door（lid）opening-closing mechanism

由手动或动力驱动炉门（盖）启闭的机构。

4.2.19　炉罐　retort

用来在真空或控制气氛中加热炉料的陶瓷或金属制密闭容器。

4.2.20　坩埚　crucible

由耐火材料或导电材料如钢、铜或石墨制成，用来盛装被熔化炉料的容器。

4.2.21　料筐　charging basket

用来给炉罐或炉子加热室装料的容器。

4.2.22　料盘　charging tray

用来承载和输送炉料入炉并且一起加热的托盘。

4.2.23　垫具　spacer

炉底上支持炉料的垫块。

4.2.24　辐射管　radiant tube

在金属或非金属耐热材料制管内，用电或燃烧供热，通过管壁辐射对炉料传热的加热组件。

4.2.25　红外加热器　infrared heater

无加热室，主要用红外辐射对物料进行加热的电热设备。

4.2.26　红外加热元件　infrared heating element

发射出红外辐射的加热源。

4.2.27　导轨　rail

起导向或支撑作用的构件。

4.2.28 台车 bogie hearth

装载炉料能在导轨上移动的车式炉底，包括车架、砌筑炉底及其驱动机构。

4.2.29 布风板 wind-distribution plate

由金属或陶瓷材料制成的多孔性板，用于使通过的气体均匀分布。

4.2.30 风室 wind chamber

流态粒子炉内位于布风板下方导入空气和气氛的炉室。

4.2.31 火帘 flame curtain

炉口处由煤气、天然气或石油液化气等可燃气体燃烧形成的一排火焰，用于阻止大气进入炉内和炉内气体逸出炉外。

4.2.32 炉料转移系统 charge transfer system

按选定的工作程序转移炉料的机械系统。

4.2.33 送料器 charge feeder

用于在加热和冷却时，手动、半自动或全自动地放置、移动和替换炉料的电炉设备。

4.2.34 推送输送机构 pusher

把炉料（和它的装载工具）在水平或略倾斜的炉床上依次相挨推送进出炉室的机械装置。

4.2.35 振动输送机构 vibrating conveyor

由作小幅度振动的、略带倾斜的槽构成，用来连续输送炉料的设备。

4.2.36 振底输送机构 shaker conveyor

由作往返运动的水平或略带倾斜的炉底构成，推动炉料步进的输送设备。

4.2.37 链条输送机构 chain conveyor

用于电炉加热室内装运炉料，具有由链轮驱动的链条环的输送设备。

4.2.38 传送带输送机构 belt conveyor

由传送带、驱动机构以及相应的支承结构组成的输送炉料进出炉室的机械装置。

4.3 炉名

4.3.1 间歇式炉 batch furnace

用来处理单批炉料并可与炉料加热和冷却或保持在规定温度下的非连续式炉。

4.3.2 箱式炉 box-type furnace

加热室呈箱形、卧式，具有进出料炉门的间歇式电阻炉。

4.3.3 井式炉 pit furnace

加热室呈井式，炉料从其顶部装料的间歇式电阻炉。

4.3.4 台车式炉 bogie hearth furnace

炉底做成小车，炉料放在车上进出炉子但加热时小车滞留炉内的间歇式电阻炉。

4.3.5 底开式炉 drop bottom furnace

炉口向下，炉门侧向开闭，炉料在炉内悬挂加热的间歇式炉。通常炉口下方装有淬火槽，以便炉料迅速下降淬火。

4.3.6 罩式炉 bell furnace

炉底固定，加热炉罩在其上可移动或加热炉罩固定，炉底可升降的间歇式炉。

4.3.7 转筒式炉 rotary drum furnace

具有转动筒体的卧式连续式电阻炉。

4.3.8 连续式炉 continuous furnace

被加热炉料通过炉内连续输送的电炉。

4.3.9　链条输送式炉　chain conveyor furnace

炉料由链条输送装置输送的连续式炉。

4.3.10　辊底式炉　roller hearth furnace

炉料由辊棒承载和输送通过其内的连续式电阻炉，其中有些辊棒是被驱动的。

4.3.11　车底式炉　bogie furnace

炉料放在多个小车上沿着加热室输送的连续式电阻炉。

4.3.12　步进式炉　walking beam furnace

炉料由机械装置交替地抬升和向前放落，沿着炉室向前输送的连续式电阻炉。

4.3.13　转底式炉　rotary hearth furnace

具有绕立轴回转的圆形或环形炉底以及进、出开口的卧式连续式电阻炉，有时只有一个开口。

4.3.14　传送带式炉　belt conveyor furnace

由网带或铸链带承载和输送炉料通过其内的连续式炉。

4.3.15　推送式炉　pusher furnace

每件炉料被后一件炉料沿着炉底间歇地推进的连续式炉。

4.3.16　振底式炉　shake hearth furnace

由于炉底周期性的慢进和快速返回运动，使炉料沿着炉底逐步输送的连续式炉。

4.3.17　牵引式炉　drawing furnace

专门用来加热线材或带材的卧式连续式电阻炉，线材或带材被牵引通过炉子的加热室。

4.3.18　重力输送式炉　gravity feed furnace

炉料靠自身重力运动前进的连续式炉。

4.3.19　隧道式炉　tunnel furnace

加长的卧式连续式炉。

4.3.20　可控气氛炉　controlled atmosphere furnace

炉料在成分可控制在预定范围内的气氛中进行加热的炉子。

4.3.21　密封淬火炉　sealed quenching furnace

炉料在可控气氛中加热、渗碳，并在同一设备内进行淬火的炉子。

4.3.22　真空炉　vacuum furnace

加热室结构允许在低于大气压力下处理炉料的电炉。

4.3.23　热壁真空炉　hot wall vacuum furnace

外热式真空炉

炉料和真空密闭室由外部加热的真空炉。

4.3.24　冷壁真空炉　cold wall vacuum furnace

内热式真空炉

真空密封室的壁被冷却的，内部具有加热元件的真空炉。

4.3.25　浴炉　bath furnace

把炉料浸入处于工作温度下的液态介质进行加热的炉子，如盐浴炉、液态金属浴炉和油浴炉，该炉通常为间歇式。

4.3.26　流态粒子炉　fluidized bed furnace

炉膛内具有流动状态粒子的间歇式电阻炉，有可能参与反应的被加热或被冷却的气体通过该炉室。

4.3.27 内热式流态粒子炉 internally-heated fluidized bed furnace

热源位于炉内的流态粒子炉。

4.3.28 外热式流态粒子炉 externally-heated fluidized bed furnace

热源位于装有粒子的炉罐外部的流态粒子炉。

4.3.29 电红外炉 electric infra-red furnace

由加热室和电红外加热元件构成的炉子。

4.3.30 多工区炉 multi-zone furnace

具有两个或更多加热区的电阻炉，各区独立自动控制以获得热处理所需的各温度。

4.4 炉内气氛

4.4.1 自然气氛 natural atmosphere

以自然状态存在于加热室内，无任何气氛成分控制的气体介质。

4.4.2 可控气氛 controlled atmosphere

成分可控制在预定范围内的气氛。

4.4.3 保护气氛 protective atmosphere

炉内用来保护炉料或加热元件使之在加热时避免或减少氧化和脱碳及其他不良化学反应的可控制气氛。

5 热处理电热设备

5.1 电阻加热

5.1.1 一般术语

5.1.1.1 电阻加热 resistance heating

利用电流在导电介质中产生焦耳效应的电加热。

5.1.1.2 空炉升温时间 no-load heating up time

在额定电压下，把一台经过充分干燥的、没有装炉料的电阻炉从冷态加热到最高工作温度所需的时间。

5.1.1.3 空炉损失 no-load power loss

没有装炉料的电阻炉的炉体部分在最高工作温度下的热稳定状态时所损失的功率或称空炉损耗功率。

5.1.1.4 加热导体表面负荷 heating conductor surface load

加热元件表面负荷

加热导体的功率除以其表面积的商。

5.1.1.5 空炉抽气时间 no-load evacuation time

真空炉在空炉冷态情况下，把炉内气体从大气压抽到规定的极限真空度所需的时间。

5.1.1.6 极限真空度 ultimate pressure

真空炉设计规定的，在空炉冷态情况下，炉内所能达到的最低压力。

5.1.1.7 工作真空度 working pressure

真空炉在正常工作时炉内的压力。

5.1.1.8 压升率 pressure rising rate

真空炉在空炉冷态情况下，在单位时间内因漏气而引起的压力上升值。

5.1.2 零部件、构件和配套件

5.1.2.1 发热导体 heating conductor

与电源连接，用于把电能转变成热能的导体，同义词：加热电阻体。

5.1.2.2　加热元件　heating element

由加热电阻器和附件组成，用来把电能转换成热的可拆装或不可拆装的部件。

5.1.2.3　管状加热元件　tubular type heating element

由管材和装入其内的发热导体以及填充其间的绝缘导热材料等组成的加热元件。

5.1.2.4　引出棒　cold lead

引出线　cold tail

连接加热电阻器和电源线且无明显发热的零件。

5.1.2.5　隔热屏　heat shield

装在热源与受热件之间的热屏蔽装置，用来减少热源对受热件的热辐射。在电炉内部通常指真空电阻炉中由金属薄片或其他材料制成，位于加热元件与炉壳之间的热屏蔽构件。

5.1.2.6　冷阱　condensing collector

真空系统中，装有制冷剂用于冷却和捕集各种蒸气的冷凝装置。

5.1.2.7　闸阀　valve

炉体内用于隔离炉室的闸门，使各炉室彼此独立，互不影响。

5.1.2.8　强迫炉气循环系统　forced air circulation system

强迫炉气在炉内循环流动的系统，通常由风扇、导风筒等组成。

5.1.2.9　主电极　main electrode

工作电极

用于浴炉，由导电材料制成，一端接于电源，另一端插入（或埋入）浴槽内，用以传导电流的构件。

5.1.2.10　辅助电极　auxiliary electrode

浴炉的启动电极，当工作电极导通后即停止工作。

5.1.2.11　启动装置　start device

用以启动电极盐浴炉的装置，通常包括辅助电极、启动电阻或碳棒。

5.1.3　炉名

5.1.3.1　电阻炉　resistance furnace

用于电阻加热，具有炉室的电热设备。

5.1.3.2　直接电阻加热装置　direct resistance electro heat installation

用于直接电阻加热的装置。

5.1.3.3　间接电阻电热装置　indirect resistance electro heat installation

用于间接电阻加热的装置。

5.1.3.4　真空电阻炉　vacuum resistance furnace

采用电阻加热的真空炉。

5.1.3.5　非贯通间歇式真空电阻炉　“in and out” type discontinuous vacuum resistance furnace

只有一个供水平装出炉料用的炉门，至少有两个相互间用真空密封门隔开的炉室（加热室和冷却室）组成的间歇式真空电阻炉。

5.1.3.6　贯通间歇式真空电阻炉“straight through” type discontinuous vacuum resistance furnace

在炉体的前后端分别设有装料门和出料门，至少有两个相互间用真空密封门隔开的炉室（加热室和冷却室）组成的间歇式真空电阻炉。

5.1.3.7　连续式真空电阻炉　continuous vacuum resistance furnace

由相互间用真空密封门隔开的三个炉室组成的，在整个工作过程中，加热室内始终有被加热炉

料的真空电阻炉。

5.1.3.8 真空离子轰击热处理炉 ion-bombarding heat treatment vacuum furnace

在真空容器中，利用气体电离的正离子在电场作用下轰击炉料表面，使之加热的热处理炉。

5.1.3.9 真空离子渗碳炉 ion-carburizing vacuum furnace

在真空容器中，利用辉光放电使渗碳气体电离，所产生的碳离子在电场作用下轰击炉料表面进行渗碳的热处理炉。

5.1.3.10 真空离子渗氮炉 ion-nitriding vacuum furnace

在真空容器中，炉料接阴极，容器接阳极，通电使渗氮气体发生电离，所产生的氮离子在电场作用下轰击炉料表面，进行渗氮的热处理炉。

5.1.3.11 油淬真空电阻炉 oil-quenching vacuum resistance furnace

真空炉壳内装有淬火油槽，炉料加热后由转移机构浸入油中淬火的真空电阻炉。

5.1.3.12 气淬真空电阻炉 gas-quenching vacuum resistance furnace

加热后炉内充入惰性气体，使炉料进行强迫冷却淬火的真空电阻炉。

5.1.3.13 内热式浴炉 internally heated bath furnace

电极或加热元件位于浴槽内的浴炉。

5.1.3.14 电极盐浴炉 salt bath electrode furnace

盐浴中具有两根或多根电极的内热式盐浴炉。电流流过电极间的盐浴，在盐浴中产生热能。

5.1.3.15 插入式电极盐浴炉 salt bath furnace with immersed electrodes

电极由盐浴液面插入浴槽的电极盐浴炉。

5.1.3.16 埋入式电极盐浴炉 salt bath furnace with submerged electrodes

电极的一部分埋设在浴槽壁里面的电极盐浴炉。

5.2 感应加热

5.2.1 一般术语

5.2.1.1 感应加热 induction heating

利用感应电流产生的焦耳效应的电加热。

5.2.1.2 纵向磁通感应加热 longitudinal flux induction heating

磁通平行于炉料主轴的感应加热。

5.2.1.3 横向磁通感应加热 transverse flux induction heating

磁通垂直于炉料主轴的感应加热。

5.2.2 零部件、构件和配套装置

5.2.2.1 感应线圈 induction coil

用于感应加热传递电磁能量，由铜管材或线材绕成的线圈。

5.2.2.2 感应器 inductor

由感应线圈及其附件组成的部件。

5.2.2.3 开合式感应器 split inductor

为放置炉料，绕组分单独的两个部分的加热感应器。

5.2.2.4 心式感应器 core type inductor

闭合铁心穿过其感应线圈和被加热炉料的加热感应器。

5.2.2.5 内感应器 inner inductor

用于感应加热内表面，如在感应淬火过程中加热内孔的加热感应器。

5.2.2.6 线圈导磁体 coil flux guide

由磁性材料，如导磁性良好的变压器硅钢片、铁氧体、可加工铁氧体制成的感应器设备元件。

5.2.2.7 淬火变压器 induction hardening transformer

把电源设备的输出电压降低到淬火感应线圈所需电压的变压器。

5.2.2.8 感应淬火机床 induction hardening machine

卡装炉料并能根据工艺要求使淬火用感应器或炉料移动或（和）转动的机械装置。

5.2.2.9 中频发电机组 medium frequency generator

由中频发电机及其驱动用的交流感应电动机构成的中频电源装置。

5.2.2.10 半导体变频装置 semiconductor frequency converter for induction heating

利用半导体元件把工频交流电转变为所需频率的交流电，作为感应加热电源的装置。

5.2.2.11 磁倍频器 magnetic frequency multiplier

由3台、5台或9台单相变压器联接成的静止变频器，其输出频率是工频50Hz（60Hz）的倍数，一般是150Hz（180Hz），250Hz（300Hz）或450Hz（540Hz）。

5.2.2.12 真空管式高频电源装置 vacuum tube type high frequency generator

供感应加热用的一种高频电源装置。在该装置中，通常先由整流器把工频交流转变为直流，再由电子管高频振荡器把直流电流转变为高频电流。

5.2.3 感应加热装置名称

5.2.3.1 感应加热设备 induction heating equipment

没有密闭炉室的由感应加热方法在炉料中产生电流的电热设备。按电源频率分为：工频感应加热设备（mains frequency induction heating equipment）、中频感应加热设备（medium frequency induction heating equipment）、高频感应加热设备（high frequency induction heating equipment）和超高频感应加热设备（hyper frequency induction heating equipment）。

5.2.3.2 感应淬火设备 induction hardening equipment

供炉料淬火用的感应加热设备。

5.2.3.3 感应透热设备 induction through-heating equipment

供炉料透热用的感应加热设备。

5.2.3.4 脉冲感应加热设备 pulse induction heating equipment

采用高频脉冲电源对炉料进行加热的感应加热设备。

5.2.3.5 双频感应加热设备 double-frequency induction heating equipment

采用两个不同工作频率对同一炉料进行加热的感应加热设备。

5.3 其他加热

5.3.1 电子束加热 electron beam heating

由吸收在电场中加速的一个或多个电子束的动能所生的热而进行的电加热。

5.3.2 激光加热 laser heating

基于吸收由电能激励的具有增益介质的激光器所发射的电磁辐射的电加热。

5.3.3 等离子体加热 plasma heating

利用热等离子体作为热源的加热方法。

5.3.4 电子枪 electron gun

产生、成形和加速一个或多个电子束的系统。

5.3.5 激光发生器 laser generator

产生激光束的器件。

5.3.6 ［束］扫描系统 （beam）scanning system

用于控制电子束在被加热炉料表面上有规律移动的电磁系统。

5.3.7 电子束热处理设备 electron beam heat treatment equipment

利用电子束的能量对炉料进行热处理的电热设备。

5.3.8 激光热处理设备 laser heat treatment equipment

利用激光加热对炉料进行热处理的设备。

5.3.9 等离子体加热器 plasma heater

用等离子体枪来加热材料的电加热器。

5.3.10 等离子体加热炉 plasma heating furnace

利用等离子体加热的电炉。

5.3.11 火焰加热装置 flame heating installation

利用乙炔或其他可燃气为燃料的加热装置。

6 热处理燃料炉

6.1 一般术语

6.1.1 标准燃料 standard fuel

按发热值为29 288J/kg计算的理想燃料。

6.1.2 燃料发热值 calorific capacity of fuel

单位重量或单位体积燃料，在完全燃烧时所释放的热量。

6.1.3 空气过剩系数 air excess coefficient

燃料燃烧时实际空气消耗量与理论空气消耗量之比。

6.1.4 单位燃料消耗 specific fuel consumption

单位质量炉料加热到一定热处理工艺温度所消耗的燃料量。

6.1.5 炉底热强度 thermo-intensity of hearth

在单位时间内炉底单位面积上消耗最大燃料量所提供的热量。

6.2 零部件、构件和配套装置

6.2.1 燃烧室 combustion chamber

燃料燃烧释放热能的炉室。

6.2.2 挡火墙 fire-wall

防止火焰从燃烧室直接冲入加热室的隔墙。

6.2.3 排烟口 exhaust opening

炉室排出燃烧废气的出口。

6.2.4 烟道 flue

炉室排烟口至烟囱进口之间，用金属或耐火材料构成的排烟通道。

6.2.5 烧嘴 burner

燃烧装置

使燃料或燃料与助燃空气混合进行燃烧的装置。

6.2.6 低压燃气烧嘴 low pressure gas burner

低压烧嘴

燃气与助燃空气在烧嘴内进行部分混合或不经混合，喷到炉内再边混合边燃烧形成有焰燃烧的烧嘴。

6.2.7 高压喷射式燃气烧嘴 high pressure injection gas burner

高压烧嘴

使燃气与空气在烧嘴内部充分混合，喷出后立即着火燃烧形成无焰燃烧的烧嘴。

6.2.8　平焰烧嘴　plain flame burner

使燃料和助燃空气强烈混合后旋转喷出，并沿垂直于烧嘴中心线的炉壁展开，形成圆盘形平燃烧火焰的烧嘴。

6.2.9　高速烧嘴　high speed burner

燃烧气体出口速度可达100～300m/s的烧嘴。

6.2.10　自身预热烧嘴　self preheating burner

将烧嘴、预热器和排烟道结合为整体的燃烧装置。

6.2.11　预热器　preheater

可充分利用燃料炉烟气热量预热助燃空气或燃气的热交换器。

7　热处理炉通用配套设备

7.1　气体发生与净化装置

7.1.1　可控气氛发生装置　controlled atmosphere generator

控制气氛发生器

利用原料气或有机液体燃料制备一定成分气体的发生装置。

7.1.2　吸热式气氛发生装置　endothermic atmosphere generator

将燃料气与空气按一定比例混合后，在装有催化剂的加热反应罐内经吸热化学反应进行不完全燃烧，制备一定成分的气体的装置。

7.1.3　放热式气氛发生装置　exothermic atmosphere generator

将燃料气与空气按一定比例混合后，在反应罐内进行不完全燃烧经放热化学反应制取一定成分气体的装置。

7.1.4　氨分解气氛发生装置　ammonia dissociated gas generator

使液氨在装有催化剂的反应罐内加热分解，以获得氮氢混合气体的装置。

7.1.5　氨燃烧气氛发生装置　ammonia combustion gas generator

使氨和一定量空气混合经不完全燃烧和除水，制取一定成分气体的装置。

7.1.6　反应罐　reaction retort

控制气体发生装置中发生气体化学反应的容器。

7.1.7　分子筛制氮装置　nitrogen generator with molecular sieve

利用变压吸附原理，用分子筛从空气中分离出氮气的装置。

7.1.8　气体净化装置　gas purification equipment

除去可控气氛中的水分、二氧化碳、氧、硫及其化合物等杂质，使其含量降低到一定范围内的装置。

7.1.9　除硫装置　desulphurizing equipment

用固体吸附剂或液体脱硫剂等去除可控气氛中硫及其化合物的装置。

7.1.10　除水装置　dewaterer

用化学法、冷凝法或吸附法等，使可控气氛脱水干燥的装置。

7.1.11　除二氧化碳装置　carbon dioxide eliminator

用化学吸附、物理吸附法等去除可控气氛中二氧化碳的装置。

7.1.12　露点分析仪　dew point analyzer

用于测定气氛露点，以控制渗碳氛碳势的仪器。

7.1.13　红外线分析仪　infrared analyzer

利用不同气体吸收不同波长红外线的原理，测定所吸收红外线的强度，以确定混合气体中各体组分浓度的仪器，适用于测定 CO_2、CO 及 CH_4 的浓度。

7.1.14 氧探头 oxygen probe

用于测定气氛中氧浓差电动势，以确定气氛中氧的浓度（即氧势）的传感器。

7.2 淬火冷却装置

7.2.1 淬火冷却槽 quenching tank

淬冷槽

淬火槽

供炉料淬火冷却用的盛装淬冷液的槽形容器。

7.2.2 淬火水槽 water quenching tank

淬冷水槽

盛淬火冷却用水或水溶液的淬火冷却槽。

7.2.3 淬火油槽 oil quenching tank

淬冷油槽

盛淬火冷却用油的淬火冷却槽。

7.2.4 双液淬火槽 dual-liquid quenching tank

双液淬冷槽

盛有上下分界的密度不同的两种淬冷液（如油和水）的淬火冷却槽。

7.2.5 双联淬火槽 duplex quenching tank

双联淬冷槽

将盛有不同淬冷液的淬冷槽联接成整体的淬火冷却槽。

7.2.6 输送带式淬火槽 conveyor type quenching tank

输送带式淬冷槽

输送带浸入淬冷液中，用以连续输送炉料进行淬火的淬火冷却槽。

7.2.7 摆动淬冷装置 swing quenching equipment

使炉料在淬火冷却槽中上下或左右摆动，以得到均匀冷却的装置。

7.2.8 循环冷却系统 circulation cooling system

使淬冷液从淬冷槽排出流入储液槽，再用泵输送经过滤器去除杂质及经冷却器冷却后回到淬冷槽的整套循环系统。

7.2.9 油槽灭火装置 fire extinguisher of oil tank

装在淬冷油槽上的紧急灭火装置。

7.2.10 冷却器 cooler

使淬冷液降低湿度的热交换器。

7.2.11 喷液淬冷装置 spray quenching device

喷射液体介质的淬火冷却装置。

7.2.12 喷雾冷却装置 fog spray cooling device

喷雾淬火装置

将加热的炉料在水和空气混合形成的喷雾中冷却的装置。

7.2.13 风冷装置 forced air cooling device

以吹送空气的方式使加热的炉料冷却的装置。

7.2.14 淬火压床 die hardening press

炉料加热到给定温度后在特制夹具中加压淬火以减少畸变的装置。

7.2.15　成形淬火压力机　forming and quenching press

炉料加热后在压力机上的特制夹具中同时成形并淬火冷却的装置。

7.2.16　冷处理设备　subzero treatment equipment

深冷处理设备

使炉料冷却到0℃以下的设备。

7.3　清洗与清理设备

7.3.1　清洗设备　rinsing equipment

用水、碱水或清洗剂溶液等去除炉料上油污和脏物的设备。

7.3.2　室式清洗机　box type rinsing machine

对放置在清洗室工作台上的炉料喷射水流或碱水流等以清洗其表面油污和脏物的装置。

7.3.3　输送带式清洗机　conveyor type rinsing machine

对放置在清洗室输送带上的炉料用水流或碱水流等连续清洗其表面油污和脏物的装置。

7.3.4　酸洗设备　pickling equipment

用稀酸溶液清除炉料上氧化皮及污垢的装置。

7.3.5　清理设备　cleaning equipment

用喷砂机、抛丸机或滚筒等清除炉料上氧化皮及污垢等的设备。

7.3.6　喷砂机　sand blasting equipment

喷丸机　shot blasting equipment

用压缩空气喷射石英砂或金属丸冲刷炉料表面，以去除氧化皮及污垢的装置。

7.3.7　抛丸机　wheel abrator

用高速旋转叶轮抛射金属丸冲击炉料表面，以去除氧化皮及污垢并可起到加工硬化作用的装置。

7.3.8　湿式喷砂机　liquid sand blaster

用压力水流带动石英砂冲刷炉料表面，以去除氧化皮及污垢的装置。

7.3.9　转台式抛丸清理机　rotary table abrator

对放置在清理室可旋转平台上的炉料用抛丸机清除其氧化皮的装置。

7.4　其他辅助设备

7.4.1　矫直机　straightening machine

校直机

用手动机械或压力机加压，以矫正淬火后炉料翘曲畸变的装置。

7.4.2　淬火起重机　quenching crane

具有快速下降吊钩的用于炉料快速下降淬火冷却的专用起重机。

7.4.3　硬度分选设备　hardness separator

将热处理后炉料按硬度要求限度进行自动检验并分级精选的设备。

7.4.4　吊具　hanger

挂具

吊挂炉料的工具，有单件吊具和多件吊具。

7.4.5　夹具　fixture

固定、夹持炉料的器具。

第四节　金属热处理工艺分类及代号

一、概论

本标准为一项基础性标准，目的在于对热处理工艺进行科学分类，并在此基础上制定简明的代号系统，以适应热处理生产、科研和技术发展的需要。

国外工业国家对热处理工艺进行过分类，规定了代号，并且把热处理作为机械制造工艺下面的一种工艺，同其他工艺方法一道制定工艺分类和代号（代码）标准，但这些标准均是20世纪70年代制定，该类标准至今还未进行修订，目前该类标准版本仍是有效的。

德国DIN 8580将机械制造工艺方法分为6大类：①聚形工艺，如铸造、粉末冶金；②变形工艺，如压力加工；③分离工艺，如机加工；④连接工艺，如焊接；⑤覆层工艺，如电镀、喷涂；⑥改变材料特性加工，如热处理。每一大类下面分为中类、小类和细类。但DIN 8580仅分到中类，小类和细分类由单独标准给出。每类均以数字表示具体工艺的顺序号，各类之间以“·”隔开，举例如下：

3——分离工艺

3.2——刃削

3.2.1——车削

3.2.1.6——成形车削

3.2.1.6.2——数控成形车削

这种分类代号方法的优点是具有严格的科学性，层次清楚，可继续细分类，并在各层次中为发展新工艺留有充分的余地。主要缺点是和目前机械制造的习惯分类不完全一致，如铸、锻、焊、机加工等工艺不能仅由一个大类包括。尚未见到热处理工艺的进一步分类。

日本JIS B 0122:1978《加工方法和符号》标准将机械制造分为9大类，每大类下面再分为一个或两个层次的分类。第6类为热处理，下面第一层次为正火、退火、淬火、回火、时效、冷处理、渗碳、渗氮和渗硫。退火、淬火和回火下面还有进一步的分类。这种分类既不科学，也不完整。该标准采用英文缩写的代号难于记忆。

我国JB/T 5992.1～10《机械制造工艺方法分类与代码》中的分类与日本标准相类似，代号采取阿拉伯数字表示，分类较粗。有些企业在厂标中也对热处理代号作了规定，但都未涉及工艺分类。

总之，还没有可以等效采用的热处理工艺分类和代号的国际标准，以及可以作为本标准基础的国内标准。

科学的分类体系是本标准的基础和技术关键，从分类学的要求出发，科学的分类应做到术语准确，层次清晰，范畴合理。对学科的发展留有余地，以便于将新发展的工艺纳入本标准。层次清晰要求每一个层次应具有确定的单一意义。层次的划分要粗细适度，太粗则不能反映目前热处理工艺全貌，过细则不仅显得烦琐，也很难达到囊括所有工艺的用意。由于近代科技迅速发展产生学科之间的交叉和重叠，使学科的范畴变得模糊，所以在分类时，应使每个层次的范畴做到相对合理。至于代号，如果有了科学的合理的分类体系，则只不过是具体的技术问题，总的要求应是简明易记，并给学科发展留有余地。

本标准制定于1990年，修订于2005年。

二、标准应用说明

1. 分类

热处理工艺影响因素复杂，术语繁多，可从不同的角度进行分类。从处理后获得的组织可分为退火、正火、淬火、回火、固溶处理和时效等；从加热方式分类时有可控气氛热处理、感应热处理、真空热处理、火焰热处理、高能束热处理、等离子体热处理和流态床（粒子炉）热处理等。大多数具体工艺都可以进一步加以分类。而且工艺分类之间，不完全是简单的从属关系。因此，热处理工艺分类相当复杂，并且具有一定的难度。

为了使分类层次清晰，应考虑到应用本标准时的不同要求，如设计人员可能对淬火工艺的进一步分类，即如何实现淬火工艺不感兴趣，而热处理工艺人员则关心用什么方法进行淬火。因此，我们将热处理工艺分为基础分类和附加分类，目的在于使基本的热处理工艺分类简单清晰，同时又包含了各种常用的工艺术语，并为制定热处理代号系统打下基础。

（1）基础分类。基础分类是对整个热处理工艺的分类，见标准中的表 1。本标准在工艺总称下面，按工艺类型、工艺名称两个层次的分类，具有主从关系，即下一层次是上一层次的进一步分类。基础分类代号与 JB/T 5992. 7《机械制造工艺方法分类与代码热处理》保持一致。

工艺类型指热处理的基本目的和手段，可分为 3 大类。整体热处理是对热处理件进行穿透加热，以改善整体的组织和性能；表面热处理则仅加热零件的表面，以改善表面的组织和性能；化学热处理则通过改变表面成分，来达到调整表面和心部性能的目的。无论哪一种热处理均可归入这 3 类之中。应该指出，对零件的局部进行热处理，同样可根据该部位进行热处理的方法和目的，判断属于哪种类型。用盐浴炉加热麻花钻头的工作部分并淬火时，工作部分为穿透加热，同时整个截面均淬成马氏体，故归于整体热处理类。至于感应淬火和激光淬火，一般情况下本来就是对局部表面进行处理的工艺。

按工艺名称的分类，是指按所获得的组织状态或渗入元素的分类，是普遍使用的大类热处理工艺名称。在整体热处理中，共分为退火、正火、淬火、淬火 + 回火、调质、稳定化处理、固溶处理（水韧处理）、固溶处理 + 时效 8 类。回火未单独作为一类，主要是回火必须跟在淬火后面，否则不能单独存在，因此以淬火 + 回火作为单独一类。对时效的处理和对回火一样，也只给出了固溶处理 + 时效。至于调质单独作为一类，主要考虑到淬火 + 高温回火的普遍应用。这样的分类方法，在简化工艺代号方面很有好处。

表面热处理中，除表面淬火和回火外，还纳入 3 种气相沉积和离子注入。气相沉积与仅加热表面层并改变其组织和性能的传统表面热处理不同，它是在工件的表面沉积一层新的物质，来强化表面层。因而，从学术观点看，应属两种不同工艺。然而，近年来国内外，从专业教学到学术会议，均将气相沉积归入热处理范畴。可能这是从气相沉积和表面处理都是为了改善表面性能这一共性来考虑的。离子注入因其作为表面处理工艺在分类中应有体现。

标准中的表 1 所给出的热处理基础工艺分类，包含了最基本的热处理工艺方法，但没有表明实现这些工艺的具体条件和方法，如加热方式、冷却介质和方法等。

（2）附加分类。用来进一步说明实现工艺的具体条件和方法的分类，在标准中的表 2 ~ 表 4 中提供了附加分类代号。表 2 为加热方式，它与基础分类不是从属关系，而是交叉关系，如感应加热可与前面的分类组成感应加热、感应表面加热、感应整体热处理、感应淬火、感应淬火 + 回火或感应渗碳等，可与表 1 交叉使用。表 3 只能接在退火后面使用，是对退火工艺方法的进一步分类。表 4 则为根据淬火冷却介质或淬火方法，对淬火或其他需对处理后冷却条件加以规定的工艺所做的进一步分类，如淬火工艺采用分级淬火或渗硼后水冷等。

2. 代号

一个理想的代号系统应该是简明、易记并留有发展余地，而且代号最好能与其所代表的含义发生联想。目前，我国标准中的代号系统有 4 类，即汉语拼音缩写、英语字母缩写、数字和数字字母混用。

采用拼音缩写具有与所代表含义联想的优点。就我国情况看，使用汉语拼音缩写似乎很理想，目前许多国标均采用此方法。但实际上，多数人对汉语拼音并不熟悉，即使采用了这种代号方法，大家仍按英文字母发音来读，从而失去了使用拼音字母的原意。使用英语字母系统有利于国内外交流和向国际标准靠拢，如日本 JIS B 0122 就用此类方法表示。但对英语不很熟悉的人使用这种代号时，很难联想到代号的含义，因而难于记忆。不管采用哪一种字母缩写，对于复杂的分类系统，将会遇到不少术语的第 1 个字母相同的情况。国内外也有不少代号采用数字或数字-字母混合方式，前者如美国 AISI 钢号采用了 4 位数字代号，第 1、2 位数字代表合金系统，后两位数字则代表含碳量，简明易记，是个成功的例子。美国铝合金牌号及热处理状态采用的是字母-数字系统。

标准中的基础分类采用了 3 位数字系统。第 1 位数字“5”是为了与 JB/T 5992.7 保持一致而保留的，无特别的含义。第 2、3 位数字是标准中的工艺类型、工艺名称的顺序号。由于工艺顺序是符合包括教科书、手册在内的习惯顺序的，相信熟悉热处理的人对此系统是不难记忆的。这种 3 位数字系统，对于热处理这种复杂的分类系统是比较合适的。

至于附加分类代号，标准采用数字和英文字头做后缀的方法，与基础分类代号之间用半字线连接。只有在对某些工艺具体实施条件或方法有明确要求时，才使用附加分类代号。这里也碰到某些术语第 1 个字母相同的情况，在此相同的情况下，标准中采用了第 1 个字母大写，第 2 个字母小写来区分。标准中表 2 中加热方式的代号用两位阿拉伯数字表示。标准中表 3、表 4 中的代号与 GB/T 7232 工艺术语中英文名称的关系见表 1.4-1，代号采用的英文字头，一般用英文名称的第 1 个大写字母表示，若第 1 个字母相同时，则在其后加一小写字母，以便区分。

表 1.4-1 与标准中表 3、表 4 比较，仍有一些字母相重，但标准中表 3 只能用在退火工艺，即“511-”后面，标准中表 4 则附在“513-～518-”对冷却介质和冷却方法有要求的工艺后面，因而含义不会相混。

表 1.4-1　标准修改后表 3 和表 4 中代号采用的字头与 GB/T 7232 工艺术语的英文名称的关系

表 3　退火工艺及代号		表 4　淬火冷却介质和冷却方法及代号	
去应力退火	St-stress relieving	空气	A-air
均匀化退火	H-homogenzing	油	O-oil
再结晶退火	R-recrysallization annealing	水	W-water
石墨化退火	G-graphitizing treatment	盐水	B-brine hardening
脱氢退火	D-dehydrogenation	聚合物水溶液	Po-polymer solution hardening
球化退火	Sp-spheroidizing annealing	热浴	H-hot bath hardening
等温退火	I-isothermal annealing	加压淬火	Pr-press hardening
完全退火	F-full annealing	双介质淬火	I-interrupted quenching
不完全退火	P-partial annealing	分级淬火	M-marquenching
		等温淬火	At-austempering
		形变淬火	Af-ausfoming
		气冷淬火	G-gas quenching
		深冷处理	Cr-cryogenic treatment
		冷处理	Sb-Subzero treatment

为了准确使用代号，标准的附录给出了常用的热处理工艺代号。虽然附录中没有包括所有的热处理工艺代号，但所有代号均可按附录中的组合构成。从这点看，它也具有举例和示范性质。如碳氮共渗的各种工艺方法的附加代号，可按渗碳的附加代号构成。

有时，对工艺实施条件要求较多，工艺附加分类代号可能有两个以上的字母时，可按标准中表2~表4的顺序标注，如流态床（粒子炉）加热水淬可表示为“513-10W”。如对标准中表4中两种以上方法时，用加号将两个字母连接起来，如流态床（粒子炉）加热盐浴分级淬火可以表示为“513－10H＋M”。

化学热处理中的多共元渗、渗金属、渗其他非金属，可用括号表示所渗入的元素，如“536（Cr）”和“537（Cr-V）”分别代表渗铬和铬钒共渗。

在标准中已使若干多工序热处理工艺代号简化，如“514”表示淬火＋回火，“515”表示调质，“518”表示固溶处理＋时效，“521”表示表面淬火＋回火。但碰到其他多工序热处理工艺的情况，此时只要用破折号将各工艺代号连接起来即可，但后面的工艺均省略第一个数字“5”，如“515-33-01”表示调质和气体渗氮。（北京机电研究所马兰供稿）

三、标准内容（GB/T 12603—2005）

金属热处理工艺分类及代号

1　范围

本标准规定了金属热处理工艺的分类方法及工艺代号的表示方法。

本标准适用于机械制造行业中计算机辅助工艺管理和工艺设计。

本标准规定的代码不适用于在图样上标注。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

JB/T 5992.7　机械制造工艺方法分类与代码　热处理

3　分类原则

金属热处理工艺分类按基础分类和附加分类两个主层次进行划分，每个主层次中还可以进一步细分。

3.1　基础分类

根据工艺总称、工艺类型和工艺名称（按获得的组织状态或渗入元素进行分类），将热处理工艺按3个层次进行分类，见表1。

表1　热处理工艺分类及代号

工艺总称	代号	工艺类型	代号	工艺名称	代号
热处理	5	整体热处理	1	退火	1
				正火	2
				淬火	3
				淬火和回火	4
				调质	5

（续）

工艺总称	代号	工艺类型	代号	工艺名称	代号
热处理	5	整体热处理	1	稳定化处理	6
				固溶处理；水韧处理	7
				固溶处理＋时效	8
		表面热处理	2	表面淬火和回火	1
				物理气相沉积	2
				化学气相沉积	3
				等离子体增强化学气相沉积	4
				离子注入	5
		化学热处理	3	渗碳	1
				碳氮共渗	2
				渗氮	3
				氮碳共渗	4
				渗其他非金属	5
				渗金属	6
				多元共渗	7

3.2　附加分类

对基础分类中某些工艺的具体条件更细化的分类。包括实现工艺的加热方式及代号（见表2）；退火工艺及代号（见表3）；淬火冷却介质和冷却方法及代号（见表4）和化学热处理中渗非金属、渗金属、多元共渗工艺按渗入元素的分类

表2　加热方式及代号

加热方式	可控气氛（气体）	真空	盐浴（液体）	感应	火焰	激光	电子束	等离子体	固体装箱	流态床	电接触
代号	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11

表3　退火工艺及代号

退火工艺	去应力退火	均匀化退火	再结晶退火	石墨化退火	脱氢处理	球化退火	等温退火	完全退火	不完全退火
代号	St	H	R	G	D	Sp	I	F	P

表4　淬火冷却介质和冷却方法及代号

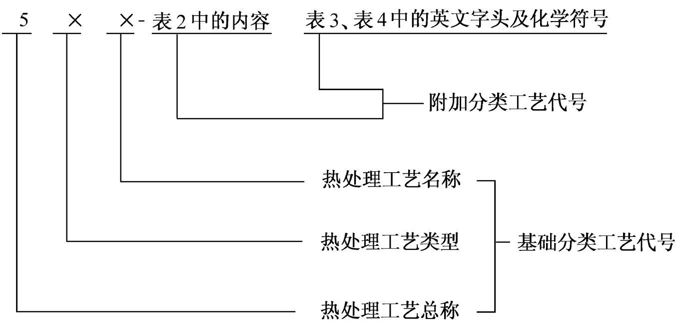
冷却介质和方法	空气	油	水	盐水	有机聚合物水溶液	热浴	加压淬火	双介质淬火	分级淬火	等温淬火	形变淬火	气冷淬火	冷处理
代号	A	O	W	B	Po	H	Pr	I	M	At	Af	G	C

4　代号

4.1　热处理工艺代号

基础分类代号采用了3位数字系统。附加分类代号与基础分类代号之间用半字线连接，采用两

位数和英文字头做后缀的方法。热处理工艺代号标记规定如下：



4.2　基础分类工艺代号

基础分类工艺代号由3位数字组成，3位数字均为JB/T 5992.7中表示热处理的工艺代号。第一位数字“5”为机械制造工艺分类与代号中热处理的工艺代号；第2、3位数字分别代表基础分类中的第二、三层次中的分类代号。

4.3　附加分类工艺代号

4.3.1　当对基础工艺中的某些具体实施条件有明确要求时，使用附加分类工艺代号。

附加分类工艺代号接在基础分类工艺代号后面。其中加热方式采用两位数字，退火工艺和淬火冷却介质和冷却方法则采用英文字头。具体的代号见表2～表4。

4.3.2　附加分类工艺代号，按表2到表4顺序标注。当工艺在某个层次不需进行分类时，该层次用阿拉伯数字“0”代替。

4.3.3　当对冷却介质及冷却方法需要用表4中两个以上字母表示时，用加号将两个或几个字母连结起来，如H+M代表盐浴分级淬火。

4.3.4　化学热处理中，没有表明渗入元素的各种工艺，如多元共渗、渗金属、渗其他非金属，可以在其代号后用括号表示出渗入元素的化学符号表示。

4.4　多工序热处理工艺代号

多工序热处理工艺代号用破折号将各工艺代号连接组成，但除第一个工艺外，后面的工艺均省略第一位数字“5”，如515-33-01表示调质和气体渗氮。

附　录　A
(资料性附录)
常用热处理工艺代号

A.1　常用热处理工艺代号（表A.1）

表A.1　常用热处理工艺代号

工　艺	代　号	工　艺	代　号	工　艺	代　号
热处理	500	流态床热处理	500-10	不完全退火	511-P
整体热处理	510	退火	511	正火	512
可控气氛热处理	500-01	去应力退火	511-St	淬火	513
真空热处理	500-02	均匀化退火	511-H	空冷淬火	513-A
盐浴热处理	500-03	再结晶退火	511-R	油冷淬火	513-O
感应热处理	500-04	石墨化退火	511-G	水冷淬火	513-W
火焰热处理	500-05	脱氢处理	511-D	盐水淬火	513-B
激光热处理	500-06	球化退火	511-Sp	有机水溶液淬火	513-Po
电子束热处理	500-07	等温退火	511-I	盐浴淬火	513-H
离子轰击热处理	500-08	完全退火	511-F	加压淬火	513-Pr

（续）

工　艺	代　号	工　艺	代　号	工　艺	代　号
双介质淬火	513-1	电子束淬火和回火	521-07	气体渗硼	535-01(B)
分级淬火	513-M	电接触淬火和回火	521-11	液体渗硼	535-03(B)
等温淬火	513-At	物理气相沉积	522	离子渗硼	535-08(B)
形变淬火	513-Af	化学气相沉积	523	固体渗硼	535-09(B)
气冷淬火	513-G	等离子体增强化学气相沉积	524	渗硅	535(Si)
淬火及冷处理	513-C	离子注入	525	渗硫	535(S)
可控气氛加热淬火	513-01	化学热处理	530	渗金属	536
真空加热淬火	513-02	渗碳	531	渗铝	536(Al)
盐浴加热淬火	513-03	可控气氛渗碳	531-01	渗铬	536(Cr)
感应加热淬火	513-04	真空渗碳	531-02	渗锌	536(Zn)
流态床加热淬火	513-10	盐浴渗碳	531-03	渗钒	536(V)
盐浴加热分级淬火	513-10M	固体渗碳	531-09	多元共渗	537
盐浴加热盐浴分级淬火	513-10H + M	流态床渗碳	531-10	硫氮共渗	537(S-N)
淬火和回火	514	离子渗碳	531-08	氧氮共渗	537(O-N)
调质	515	碳氮共渗	532	铬硼共渗	537(Cr-B)
稳定化处理	516	渗氮	533	钒硼共渗	537(V-B)
固溶处理,水韧化处理	517	气体渗氮	533-01	铬硅共渗	537(Cr-Si)
固溶处理 + 时效	518	液体渗氮	533-03	铬铝共渗	537(Cr-Al)
表面热处理	520	离子渗氮	533-08	硫氮碳共渗	537(S-N-C)
表面淬火和回火	521	流态床渗氮	533-10	氧氮碳共渗	537(O-N-C)
感应淬火和回火	521-04	氮碳共渗	534	铬铝硅共渗	537(Cr-Al-Si)
火焰淬火和回火	521-05	渗其他非金属	535		
激光淬火和回火	521-06	渗硼	535(B)		

第五节　热处理工艺材料分类及代号

一、概论

热处理工艺材料对保证热处理产品质量、节能降耗、改善劳动条件、提高经济效益都具有非常重要的意义。国内工艺材料种类繁杂、使用广泛，并且随着热处理工艺技术的发展，热处理工艺材料种类仍在不断增多，必须有一套科学系统的热处理工艺材料分类方法，用简明的分类代号系统来指导热处理工艺材料的管理和使用。

本标准是一项基础标准，目的是对热处理工艺材料进行科学分类，并在分类的基础上制定简单、清晰的代号系统，克服目前分类与代号混乱的局面，以适应热处理科学技术与热处理工艺材料生产的发展。

国外有关热处理工艺材料分类及代号标准尚未见到，但对同一类工艺材料，已形成系列，商品化生产的产品，大都有相应的类别及代号。例如，美国将可控气氛分为6类，其代号类别为100、200、300、400、500、600等；日本将可控气氛分为7类，并用英文字母作为其代号，如RX、DX、NX、HNX、AX、SX、HX等；德国德固萨公司中温、高温加热用盐代号为GS430、GS430/R_2、GS750/R_2、HS950等，等温淬火、分级淬火、回火用盐代号为AS140、AS220、AS300等。从其代号可知产品种类、应用范围等基本情况。

我国已制定了JB/T 5992.1《机械制造工艺方法分类及代号　总则》、JB/T 5992.7《机械制造工艺方法分类及代号　热处理》、GB/T 12603《热处理工艺分类及代号》等标准。前两项标准按3个层次进行分类，并规定一律用5位阿拉伯数字表示。其中热处理工艺类用“5”代号，中类、小

类均用 0 ~ 9 中一位数字代号，细类用 01 ~ 99 中两位数字代号。GB/T 12603 中将热处理工艺分为基础分类与附加两类。基础分类按工艺类型、工艺名称和加热方法 3 个层次分类，并用 4 位数字表示代号；附加分类进一步说明工艺具体条件和方法，用英文字头表示，并加在 4 位数字后面，以与基础分类代号区别。

本标准制定于 1996 年，修订于 2008 年。

二、标准应用说明

1. 热处理工艺材料分类

分类一般比较复杂，不仅要求科学性、完整性，且应留有发展的余地。热处理工艺材料范围广、种类多，影响因素复杂、术语繁多，因此合理的分类方法是制定本标准的关键。

热处理工艺材料分类方法有很多种，按工艺材料的物质状态可分为气态、液态、固态 3 类；按材料的来源与组成分为单一材料、机械混合材料、合成材料等。本标准依据工艺材料性质与用途，结合我国国情，将热处理工艺材料分为 6 类，即加热介质、冷却介质、化学介质、化学热处理渗剂（简称渗剂）、热处理保护涂料（简称涂料）、清洗剂及防锈剂等。

（1）热处理加热气态介质，主要列入了加热用的原料气和惰性气体。其中氩气是高温合金、钛合金、铜合金、不锈钢及贵金属等加热保护不可缺少的，是氮气、氢气不能代替的。用于渗碳或碳氮共渗的可控气氛列入渗剂类。

（2）热处理加热熔浴的原材料为固态。中温复合盐、高温复合盐是分别在中温盐、高温盐中加入长效复合校正剂组成，减轻工件的氧化脱碳，并使盐浴在较长时期使用时无须脱氧、捞渣，是开发的新产品。

（3）冷却介质，大部分是液体冷却介质，为了减少分类层次。将属于液体状态的水与无机水溶液、有机水溶液、油 3 种冷却介质单独列入第 3 层类别中，突出了重点。同时考虑其发展，将目前应用较少的流态床（粒子炉）介质也列入其中。

深冷处理是钢件淬火冷却到室温后，继续在 0℃以下的冷处理中冷却，故将冷处理剂归纳进淬火冷却介质范畴。

（4）有机聚合物水溶液淬火冷却介质目前有的名称尚待统一。标准中的名称是参照美国《金属手册》，我国的《热处理手册》、《机械制造工艺材料手册》提出的。聚乙烯醇（PVA）、聚烷撑二醇又称聚醚（PAG）、聚乙二醇又称聚醚-乙二醇（PEG）、聚丙烯酸钠（PAS）、聚丙烯酰胺 5 种水溶液淬火冷却介质都是我国生产的。

（5）化学热处理在 JB/T 5992.7、GB/T 12603 中分为渗碳、碳氮共渗、渗氮、氮碳共渗等 8 类，在我国《热处理手册》中分为奥氏体状态化学热处理、铁素体状态化学热处理、多元共渗、离子化学热处理及其他共 5 类。因渗碳与碳氮共渗剂，渗氮与氮碳共渗剂组分与特性都类似，本标准合并为同一类。熔渗类改为其他类，扩宽了范围。本标准将化学热处理渗剂共分为 6 类（见标准中表 1）。

（6）在热处理涂料方面，近年开发了不少多功能防护涂料、保护膜等，不仅能抗氧化、防脱碳，并能防止渗碳、渗氮等，故热处理涂料类不再细分为抗氧化脱碳涂料与防渗涂料等。

2. 热处理工艺代号结构

国内外不少代号系统是采用数字式或英文字头-数字式。本标准的热处理工艺材料分类代号由汉语拼音字头和 4 位阿拉伯数字组成。GYCL（Gong Yi Cai Liao）为热处理工艺材料代号。这样层次比较清楚、简单，利于记忆。

第 2 层次用数字 1 ~ 6 中一位数字分别表示本标准中加热、冷却介质、化学热处理渗剂等类的

代号，这样选择的原因，使得本标准与 JB/T 5992.7、GB/T 12603 标准中整体热处理、表面热处理、化学热处理 3 类工艺的第 2 位数字代号 1、2、3 相似，使热处理专业中《热处理工艺分类及代号》与《热处理工艺材料分类及代号》两个标准文本相对应。

第 3 层次为 0 ~ 9 一位数字代号。

第 4 层次小类用 01 ~ 99 两位数字代号。因为工艺材料品种很多，0 ~ 9 数字不够用，若再细分，层次过多，太烦琐，所以采用 01 ~ 99 两位数字作代号，解决一位数字不够用的矛盾。

在本标准中，表 1、表 2 列出了常用热处理工艺材料的分类与代号，没有包括所有的工艺材料代号，但所有未列入工艺材料的代号均可按表 1、表 2 组合方式构成，其具有举例和示范性质。

本标准已使若干多工序中使用多种工艺材料的代号简化。将各工序用的材料代号之间用破折号连接组成，第 2 种材料可省略 GYCL。例如，可控气氛渗碳和光亮淬火用的渗碳剂和光亮剂淬火油的代号为 GYCL 3105—2310；熔盐铬稀土共渗和硝盐的代号为 GYCL3535—2401。（武汉材料保护研究所张良界供稿）

三、标准内容（JB/T 8419—2008）

热处理工艺材料分类及代号

1 范围

本标准规定了金属热处理工艺材料分类的基本原则、分类方法及工艺材料代号表示方法。

本标准适用于机械制造行业。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232 金属热处理工艺术语

GB/T 8121 热处理工艺材料术语

JB/T 7505 离子镀 术语

3 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121、JB/T 7505 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 气相沉积材料 vapor deposited materials

金属或合金表面气相沉积覆盖层所用的原始材料，如钛金属、氮气等。

4 分类

根据工艺材料的用途、组分和形态、名称三个层次进行分类，见表 1。

表 1 热处理工艺材料分类及代号

总 称	代 号	大类名称	代 号	中类名称	代 号
热处理工艺材料	GYCL	加热介质	1	气态	1
				液态	2
				固态	3
		冷却介质	2	水及无机水溶液	1
				聚合物水溶液	2
				冷却油	3

（续）

总　称	代　号	大类名称	代　号	中类名称	代　号
热处理工艺材料	GYCL	冷却介质	2	冷却用碱	4
				气体冷却介质	5
				流态床介质	6
				冷处理剂	7
		渗剂	3	渗碳与碳氮共渗剂	1
				渗氮与氮碳共渗剂	2
				渗非金属剂	3
				渗金属剂	4
				多元共渗剂	5
				其他	6
		涂料	4	涂料	0
		清洗剂	5	清洗剂	0
		防锈剂	6	防锈剂	0

4.1　工艺材料按其用途分为加热介质、冷却介质、化学热处理渗剂、热处理涂料、清洗剂和防锈剂等。

4.2　加热介质按其物质状态分为气态、液态和固态三类。

4.3　冷却介质按其不同组分与状态分为水及无机水溶液、聚合物水溶液、冷却油、冷却用盐碱、气体冷却介质、流态床介质及冷处理剂等类。

4.4　化学热处理渗剂按渗入元素种类分为渗碳与碳氮共渗剂、渗氮与氮碳共渗剂、渗非金属剂、渗金属剂、多元共渗剂及其他类。

4.5　热处理涂料、清洗剂、防锈剂等分别单列一类。

4.6　各工艺材料类中，按其工艺材料名称再进一步分成小类，见表2。

表2　热处理工艺材料分类（小类）及代号

大、中类代号	中类名称	小类代号 01	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
		工艺材料名称														
11	气态介质	空气	氮气	氢气	丙烷	丁烷	氩气	天然气	液化石油气	瓶装可控气氛						
12	固态介质	低温盐	中温盐	高温盐	中温复合盐	高温复合盐	校正剂	煤		焦炭	木炭	氧化铝空心球	石墨			
13	液态介质	油														
21	水及无机水溶液	水	氯化钠水溶液	碳酸钠水溶液	氢氧化钠水溶液	氯化钙水溶液	硝盐水溶液	水玻璃水溶液								
22	聚合物水溶液	聚乙烯醇水溶液 PVA	聚二醇水溶液 PAG	聚乙二醇水溶液 PEG	聚丙烯醇水溶液 SPA	聚丙烯酰胺水溶液										

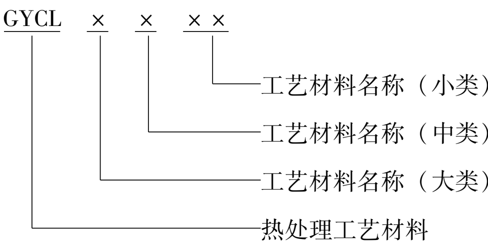
（续）

大、中类代号	中类名称	小类代号														
		01	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
		工艺材料名称														
23	冷却油	L-AN全损耗系统用油	普通淬火油	光亮淬火油	快速淬火油	等温淬火油	真空淬火油	分级淬火油								
24	冷却用盐碱	硝盐	氯化盐	碱	盐碱混合											
25	气体冷却介质	空气	氮气	氩气	氢气	混合气										
26	液态床介质	流态床介质														
27	冷处理剂	干冰	氟利昂	液氮												
31	渗碳与碳氮共渗剂	专用滴注渗碳剂	可控气氛渗碳剂	盐浴渗碳剂	固体渗碳剂	专用渗碳煤油	甲醇	乙醇	苯	丙酮	醋酸乙酯	气体碳氮共渗剂	液体碳氮共渗剂			
32	渗氮与氮碳共渗剂	专用滴注渗氮剂	气体渗氮剂	盐浴渗氮剂								专用滴注氮碳共渗剂	盐浴氮碳共渗剂			
33	渗非金属剂	固体渗硼剂	粒状渗硼剂	膏状渗硼剂	熔盐渗硼剂	固体渗硅剂	盐浴渗硫剂					电解渗硫盐浴				
34	渗金属剂	固体渗铝剂	热浸铝剂		熔盐渗铬剂	固体渗铬剂				热浸锌剂	固体渗锌剂	熔盐渗钒剂	熔盐渗铌剂	熔盐渗钛剂	固体渗钛剂	
35	多元共渗剂	固体铬铝共渗剂	固体铬铝硅共渗剂	固体硼铝共渗剂	固体铬硅共渗剂	固体铝稀土共渗剂	固体硼氮共渗剂	热浸铝锌合金剂	熔盐铬稀土共渗剂			气体硫氮共渗剂	气体硫氮碳共渗剂	熔盐硫氮碳共渗剂	硫氮碳共渗再生盐	气体氧氮共渗剂
36	其他	激光熔渗剂	激光黑化剂	电子束熔渗剂	气相沉积材料											
40	热处理涂料	防氧化脱碳涂料	防渗碳涂料	防渗氮涂料	防碳氮共渗涂料	防渗硼涂料	防渗铬、铝涂料	多用防护涂料	保护膜		合金抗氧化涂料					
50	清洗剂	碱液清洗剂	有机溶剂清洗剂	金属清洗剂	残盐清洗剂	气相清洗剂	超声波清洗液	电解清洗液	酸洗剂							
60	防锈剂	水剂防锈液	防锈油													

5　代号

5.1　代号标记

热处理工艺材料代号标记如下：



5.2　代号组成

热处理工艺材料代号由汉语拼音字头和四位阿拉伯数字组成。GYCL（Gong Yi Cai Liao）为热处理工艺材料代号，第一位、第二位、第三位及第四位数字分别代表分类中第二、三、四层次中大类、中类和小类的代号，第四层次工艺材料名称（小类）用两位阿拉伯数字作代号。

当工艺标准在某层次不需进行分类时，该下层次用（0）或“00”代替，如冷却介质用GYCL2000代号；渗金属剂用GYCL3400代号。

5.3　代号及示例

热处理工艺材料代号见表2。

示例：高温复合盐代号是GYCL1200；专用滴注渗碳剂代号是GYCL3101；气相沉积材料代号是GYCL3615。

5.4　多工序热处理工艺材料代号

进行多工序热处理时，使用的多种工艺材料代号是将各工艺材料代号之间用破折号连接组成，第二种材料可省略GYCL。如GYCL3101～2310表示气体渗碳和光亮淬火用的专滴注气体渗碳剂和光亮淬火油的代号。

第六节　可控气氛分类及代号

一、概论

将可控气氛进行分类是一个国家应用可控气氛技术趋向成熟的标志。它有助于气氛的规范化和系统化，有助于合理地选择气氛，有助于可控气氛热处理的推广和应用。

1. 国内外可控气氛分类概况

国外有关可控气氛的分类工作进行得比较早。美国、苏联、日本等国家都有各自的分类方法和代号体系。但形成正式标准的并不多，在所收集到的资料中，只有罗马尼亚把可控气氛分类列入了国家标准（STAS 9353:1980 ATMOSFERE CONTROLATE—Clasificare Siterminogie）。其他一些分类方法在下列资料中可以查到。

1）美国金属学会：Metals Handbook，Vo14，2013。

2）日本中外炉工业株式会社：雾围气发生装置。

3）Ю. М. 拉赫金等：机械制造中的热处理手册，上海科学技术出版社，1986。

从分类的方法来看，大致有以下3种：①根据气氛生成的热力学原理，将可控气氛分为吸热式和放热式两大类，同时将其他单一组成的气体（H_2、N_2、水蒸气等）作为一类（罗马尼亚分类

法）。②根据气氛的基本组成分类（苏联分类法）。③根据气氛的制备方式、原料气类型分类（美国、日本分类法）。其中，美国、日本、苏联所采用的分类方法比较合理，具有一定的代表性，按照这些方法所进行的分类能比较全面地概括各种类型的可控气氛。同时，有一套完整的与各类气氛相配合的代号体系。

美国、日本和苏联的可控气氛分类及其代号体系分述如下。

（1）美国分类法。美国目前通用的是美国煤气协会（American Gas Association）的分类法，依据气氛的制备方法和采用的原料气把通常的制备气氛分成6个大类，包括：Ⅰ放热式气氛（Exothermic-base Atmosphere）；Ⅱ氮制备气氛（Prepared Nitrogen-base Atmosphere）；Ⅲ吸热式气氛（Endothermic-base Atmosphere）；Ⅳ木炭发生气（Charcoal-base Atmosphere）；Ⅴ放热-吸热式气氛（Exothermic Endothermic-base Atmosphere）；Ⅵ氨制备气氛（Preparecd Ammonia-base Atmosphere）。

同时，在6大类的基础上，依据使用过程中一些具体情况，如原料气的配比、通入炉内的方式、气氛入炉前的添加物以及气氛的再处理方法等，将制备气氛分为若干小类。

美国分类法中所采用的代号由3位数字组成。其中第1位数字代表大类，与6大类气氛相对应的代号分别为：100、200、300、400、500、600。后边两位数字按自然数的顺序从01到26与第1位数字组合起来分别代表若干小类。

最常用的几种气氛类型、成分及一般用途如表1.6-1所示。

表1.6-1 几种常用的气氛类型、成分及一般用途

类型	名称	一般用途	成分（体积分数,%）				
			N_2	CO	CO_2	H_2	CH_4
101	淡型放热式气氛	钢的氧化处理	86.8	1.5	10.5	1.2	—
102	浓型放热式气氛	光亮退火、烧结、铜焊	71.5	10.5	5.0	12.5	0.5
201	淡型氮制备气氛	中性加热	97.1	1.7	—	1.2	—
202	浓型氮制备气氛	退火、不锈钢钎焊	75.3	11.0	—	13.2	0.5
301	淡型吸热式气氛	光亮淬火	45.1	19.6	0.4	34.6	0.3
302	浓型吸热式气氛	渗碳	39.8	20.7	—	38.7	0.8
402	木炭发生气	渗碳	64.1	34.7	—	1.2	—
501	淡型放-吸热式气氛	光亮淬火	63.0	17.0	—	20.2	—
502	浓型放-吸热式气氛	渗碳	60.0	19.0	—	21.0	—
601	氨分解气氛	钎焊、烧结	25.0	—	—	75.0	—
621	淡型氨燃烧气氛	中性加热	99.0	—	—	1.0	—
622	浓型氨燃烧气氛	不锈钢粉末烧结	80.0	—	—	20.0	—

（2）日本分类法。日本多沿用美国Surface Combustion Co. 的分类法，是由日本中外炉公司在引进该公司技术的同时引入的，并首先在中外炉公司使用，随后被其他公司采用。依据制备方法和原料气将采用的可控气氛分为7个类别，并采用英文字母作为其代号。其对应关系及典型成分如表1.6-2所示。

表1.6-2 可控气氛类别代号及典型成分

气氛代号	典型成分（体积分数,%）						备　注
	CO_2	CO	H_2	CH_4	H_2O	N_2	
RX	0	24.0	33.4	0.4	0	42.2	吸热式气氛
	0	24.5	32.1	0.4	0	43	

（续）

气氛代号		典型成分（体积分数,%）						备　注
		CO_2	CO	H_2	CH_4	H_2O	N_2	
DX	淡型	10.5	1.5	1.2	0	0.8	86.0	放热式气氛
	浓型	5.0	10.5	12.5	0.5	0.8	70.7	
NX		0.05	1.5	1.2	0	0	余量	氮制备气氛
HNX		0.05	0.05	3~10	0	0	余量	
AX		0	0	75	0	0	25	氨分解气氛
SAX		0	0	3~1.0	0	0	97~99	氨燃烧气氛
HX		0.05~2	0.05~1	50~99.8	0~0.4	0	余量	精制吸热式气氛

日本中外炉公司的分类法和其生产的热处理设备（包括气氛发生器、工作炉）是相联系的，可以说代表了中外炉公司可控气氛热处理设备的系列型号。其特点和美国分类法基本相同，不同的是不包括木炭制备气以及放热-吸热式气氛。此外，表1.6-2所列的7类气氛实际上是5大类，即吸热式气氛、放热式气氛、氮制备气氛、氨制备气氛、精制吸热式气氛。相应的代号分别为：RX、DX、NX、AX、HX。这5大类气氛可以作为基本型，其他的都是在此基础上发展起来的。其表示方法是在与之相类似的基本气氛的代号前加一英文字母，如HNX和NX同属于净化后的放热式气氛，不同的是HNX中含有一定量的氢；SAX和AX同属于氨制备气氛，不同的是一个是通过燃烧，一个是通过加热分解。新近发展的、代号为CRX的炉内设置吸热式气体发生器气氛（Endothermic Gas Generater Mounted Inside Furnace）和RX同属吸热式气氛，但气体发生器的设置方式不同。实际上，基本型气氛代号前的字母与美国分类法中小类的代号作用是一样的。

（3）苏联分类法。A. A什梅科夫早在1945年就提出了可控气氛的分类，并发表了一系列著作。分类中几乎把所有的热处理用气氛都归入可控气氛的范围，并按照可控气氛与金属、合金相互作用的特点分为惰性气体、非平衡气氛、平衡气氛3种。其中，平衡气氛等同于日、美分类法中的可控气氛。在苏联的分类法中，将平衡的可控气氛按照气氛的组成类型分为下面几种类型：Ⅰ　H_2—H_2O—N_2；Ⅰ$_a$　H_2—CH_4—H_2O—N_2；Ⅱ　H_2—H_2O—CO—N_2；Ⅱ$_a$　H_2—H_2O—CO—CH_4—N_2；Ⅲ　CO—CO_2—N_2；Ⅳ　CO—CO_2—H_2—H_2O—N_2；Ⅳ$_a$　CO—CO_2—H_2—H_2O—CH_4—N_2；Ⅴ　N_2—CO—H_2；Ⅴ$_a$　N_2—H_2。

分类法中所采用的代号与气氛的制取方法相联系，由俄文字母组成。对于通过燃烧制取的气氛，往往在字母后面加上空气系数作为其代号。

表1.6-3为平衡的可控气氛分类、代号、成分汇总。

表1.6-3　平衡的可控气氛分类、代号、成分

气氛类型	主要的制取方法	代号	空气系数	气氛成分（体积分数,%）					露点/℃
				CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2	
Ⅰ. H_2-H_2O-N_2	电解水	B（H_2）	—	—	—	100	—	—	-40~-75
	氨分解	B-ДA	—	—	—	75	—	余量	-40~-75
	氨不完全燃烧	ПCB-α	0.7~0.9	—	—	7~25	—	余量	-40~-75
Ⅰ$_a$. H_2-CH_4-H_2O-N_2	氢与甲烷合成的混合物	B-У	—	—	—	95~99	5~1	—	-40~-65

（续）

气氛类型	主要的制取方法	代号	空气系数	气氛成分（体积分数,%）					露点/℃
				CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2	
Ⅱ. H_2-H_2O-CO-N_2 Ⅱ$_a$. H_2-H_2O-CO-CH_4-N_2	烃类气体在吸热式发生器中不完全燃烧 甲烷转化	ПС-0.25 （ПС-Э，ЭНДОГАЭ） КГУ-H_2O	0.25～0.26 CH_4: H_2O =1: 1	20 25	— —	40 75	<1.5 —	余量 —	+10～0 +10～−20（<−65）
Ⅲ. CO-CO_2-N_2	煤气发生站的操作法	ГГ，ГГ-ВО	—	25～34	<2	<6	<1	余量	+20～−25
Ⅳ. CO-CO_2-H_2-H_2O-N_2 Ⅳ$_a$. CO-CO_2-H_2-H_2O-N_2	煤气不完全燃烧	ПС-α ПС-06 ЭКЗОГАЗ	0.45～0.6	8～12	0.1～6.0	15～20	—	余量	+20～−40
Ⅴ. N_2-CO-H_2 Ⅴ$_a$. N_2-H_2	煤气不完全燃烧 净化工业氮与氢的混合物	ПС-α（ПС-09） A（N_2）	0.85～0.95	2～4 —	— —	2～4 2～4	— —	余量 余量	<−65 <−75

由于制定的时间较早，日本、美国以及苏联的分类法中都不包括有机液体裂解气氛（国内也称滴注式气氛）和氮基气氛。就目前的情况来看，这两种气氛已经成为两大独立的气氛类型，无疑应该列入分类标准中。

我国试验和开发了多种可控气氛，并已成功地应用于生产。关于可控气氛的分类，许多著作和文献进行了不同程度的探讨和尝试，提出了不少的建议和设想，但目前仍存在许多分歧意见，尚未形成统一的认识。

2. 编写本标准的指导思想和目的

和其他技术标准不同，本标准不涉及具体的技术指标要求。作为分类及代号标准，它主要是对我国可控气氛研究和开发成果的总结和完善，并使其体系化和标准化，以对合理选择和使用气氛以及对可控气氛热处理技术的发展起指导作用。

在编写本标准时，既借鉴国外的分类方法，又必须考虑国内的实际情况，使分类法切实可行；既总结比较成熟的气氛，也必须考虑新开发的气氛，如氮基气氛和炉内直接制备气氛等；气氛的名称和定义应准确，使名称确实能反映其主要特点（如制备原理、方式和原料等），纠正不准确的名称概念，统一认识；气氛的代号应简明、规范、使用方便，并能较直接地反映出气氛类型为其主要特点。

本标准制定于1989年，第1次修订于1999年，再次修订完成于2008年。

二、标准应用说明

1. 可控气氛分类

本标准规定了热处理用可控气氛的分类和代号，首先需要说明什么是可控气氛以及可控气氛所包括的范围。GB/T 8121《热处理工艺材料　术语》中着重强调了可控气氛是可以控制的气体混合物。在此，“可控制”的含义首先应该是热力学上的概念，而不是其他概念（如流量、压力等）上

的“可控制”。即气体混合物之间存在化学平衡关系。根据不同要求，通过控制炉内气氛的反应即可达到预期的目的。如典型的可控气氛碳势控制是通过下面 3 个化学反应的平衡关系来进行的。

渗碳反应　　　　平衡时的碳势

1）$2CO \rightleftharpoons [C] + CO_2$　　　　$a_C = \dfrac{K_{I} p_{CO}^2}{p_{CO_2}}$

2）$CO + H_2 \rightleftharpoons [C] + H_2O$　　　　$a_C = \dfrac{K_{II} p_{CO} p_{H_2}}{p_{H_2O}}$

3）$CH_4 \rightleftharpoons [C] + 2H_2$　　　　$a_C = \dfrac{K_{III} p_{CH_4}}{p_{H_2}^2}$

按照这一原则，参考国外的分类方法并结合国内的实际情况，综合考虑气氛的制备方法和原料气类型，将热处理用可控气氛分为 8 个大类：Ⅰ　放热式气氛；Ⅱ　吸热式气氛；Ⅲ　放热-吸热式气氛；Ⅳ　有机液体裂解气氛；Ⅴ　氮基气氛；Ⅵ　氨制备气氛；Ⅶ　木炭制备气氛；Ⅷ　氢气。

除了上述的可控气氛外，通常用于加热保护的还有一些单一组成的惰性气体，如氩气、氦气等。这类气氛如何归类，从我们的调查结果看，存在两种不同的意见。一种认为除上述 8 大类气氛外，可控气氛还应包括单一组成的气体。另一种认为它不属于可控气氛的范围。国外也存在相同的问题，如罗马尼亚、苏联的分类中包括单一组成的气体，而日本、美国的分类中则不包括这类气体。我们认为，单一组成的气体成分固定不变，不存在平衡关系，也就无所谓是否可调或可控，因此，它不属于可控气氛。

（1）放热式气氛。放热式气氛是将燃料气（天然气、丙烷等）按一定比例与空气混合经放热燃烧而制成的气氛。制备放热式气氛时的空气系数（α）一般为 0.50～0.98，$\alpha = 0.50 \sim 0.80$ 时为浓型放热式气氛，$\alpha = 0.90 \sim 0.98$ 时为淡型放热式气氛。其典型的成分如表 1.6-4 所示。

表 1.6-4　放热式气氛典型成分

气氛名称		典型成分（体积分数,%）					露点/℃	备注
		CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2		
放热式气氛	浓型	10.5	5.0	12.5	0.5	71.5	-4.5～+4.5	$\alpha = 0.63$
	淡型	1.5	10.5	1.2	—	86.8	-4.5～+4.5	$\alpha = 0.95$

普通放热式气氛中含有较多的 CO_2 和 H_2O，在一定条件下有氧化性。所以实际使用时，大都需要净化，即将普通的放热式气氛经过一定的物理化学方法（如选择吸附、冷冻等），使气氛中的 CO_2 和 H_2O 降低到一定程度。有时甚至需要精净化，即在一般净化的基础上将气氛中的 CO 经催化反应生成 CO_2，再除去 CO_2。净化后的放热式气氛中主要是 N_2。所以国外也称制备氮气氛，其成分如表 1.6-5 所示。

表 1.6-5　净化放热式气氛典型成分

气氛名称	典型成分（体积分数,%）					露点/℃
	CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2	
净化放热式气氛	10.5	—	15.5	1.0	73.0	-40
	0.7	0.7	—	—	98.6	-40
	0.05	0.05	10.0	—	90.0	-40
	0.05	0.05	3.0	—	97.0	-40

（2）吸热式气氛。吸热式气氛应用得最早，也是目前采用较为广泛的一种可控气氛。其制备方

法是将燃料气（天然气、丙烷等）按一定比例与空气混合后通入发生器，在催化剂的作用下和外部供热的条件下，经吸热反应而制成的气氛。其典型成分如表 1. 6-6 所示。

表 1. 6-6 吸热式气氛典型成分

气氛名称	典型成分（体积分数,%）					露点/℃
	CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2	
吸热式气氛	23. 0 ~ 25. 0	0. 2	32. 0 ~ 33. 0	0. 4	余量	0. 0

值得提出的是，除上述传统的炉外发生器制备法外，吸热式气氛的制备方法近年来正在经历着大的改进。在满足基本成分和使用的基础上，取消炉外发生器，甚至开发了将炉内废气重新利用的“零碳排放”技术，达到节能减排的目的，如日本已研制成功并已应用于生产的代号为 CRX 的炉内设置吸热式气体发生器气氛，以及目前国内外正在研制的将混合后的燃料气和空气直接通入工作炉内制备吸热式气氛。

（3）放热-吸热式气氛。放热-吸热式气氛的制备经过先放热后吸热的过程，其成分介于放热式和吸热式气氛之间，兼顾了两者的特点。放热-吸热式气氛的典型成分如表 1. 6-7 所示。

表 1. 6-7 放热-吸热式气氛典型成分

气氛名称	典型成分（体积分数,%）					露点/℃	备　注
	CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2		
放热-吸热式气氛	19. 0	0. 2	21. 0	0. 0	60. 0	−46	制备 $100m^3$ 气需天然气 $12m^3$

（4）有机液体裂解气氛。有机液体裂解气氛是 20 世纪 60 年代开发的一种渗碳气氛。用这种气氛渗碳称为滴注式渗碳（drop feed carburizing），近来已成为一种主要的气氛类型，不仅广泛地应用于渗碳，也应用于保护加热。其典型成分如表 1. 6-8 所示。

表 1. 6-8 有机液体裂解气氛典型成分

气氛名称	典型成分（体积分数,%）					露点/℃	备　注
	CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2		
有机液体裂解气氛	33. 0	0. 38	64. 8	0. 77	0. 0	0. 0	甲醇裂解气氛

这类气氛原是指将有机液体直接滴入工作炉内裂解后形成的气氛。由于实际应用中也有一部分是先在裂解器（如目前国内研制生产的甲醇低温裂解器）中裂解后再通入工作炉内作为保护气氛和渗碳载气。所以原则上可以分为 2 个小类，并做出如下定义：“将有机液体直接滴入已加热的工作炉内裂解，或滴入裂解炉内经催化裂解后生成的气氛。”对这类气氛，国外尚未有正式的名称。国内一般称为滴注式气氛（从滴注式渗碳引用过来）。从气氛的制备原理以及所采用的原料综合考虑，称“滴注式”仅仅代表了原料通入炉内的方式，作为名称不够确切。而且，不能同时代表上述 2 种产气方法（直接滴入或预先裂解后通入），而“有机液体裂解气氛”能够比较确切地反映气氛的制备原理和所采用的原料，故在本标准中采用了后者。

（5）氮基气氛。氮基气氛正式应用于生产（尤其是应用于渗碳）是 20 世纪 70 年代开始的。由于其经济性以及使用的灵活性，氮基气氛普遍受到重视，目前已发展成一种主要的气氛类型。因此，标准中把氮基气氛列为一类是必要的。

和日、美分类中“制备氮气氛”的概念相区别，氮基气氛指的是以空气分离氮（液氮、分子筛制氮等）分别与一定量的氢气、燃料气、有机液体以及含有一定比例氧化性介质（H_2O、CO_2、

空气）的燃料气混合，直接通入工作炉内所生成的气氛。

关于氮基气氛的分类，通常的习惯是按添加物的种类将其分为四个小类：Ⅰ　N_2+H_2；Ⅱ　N_2 + CH 化合物；Ⅲ　N_2 + CH 化合物 + 氧化性介质（CO_2、H_2O、空气）；Ⅳ　N_2+CH_3OH（Endomix 气氛）。其中，Ⅰ和Ⅱ一般用于保护加热，Ⅲ用于渗碳，Ⅳ既可用于保护加热，也可用作渗碳时的载气。

即使在上述 4 类中，由于添加量不同，所形成的气氛组分也会有较大的差别，致使气氛的性质和用途也不尽相同。但在分类中将这些气氛一一列类是不可能的，只能就比较成熟的几种典型气氛列类，其成分见表 1.6-9。

表 1.6-9　氮基气氛典型成分

气氛名称		典型成分（体积分数,%）					备　注
		CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2	
氮基气氛	N_2-H_2 系列	—	—	5.0～10.0	—	90.0～95.0	
	N_2-CH 系列	—	—	—	1.0～2.0	98.0～99.0	
	N_2-CH-O_2 系列	4.3	—	18.3	2.0	75.4	$\varphi(CH_4)/\varphi(CO_2)=6.0$
		11.6	—	32.1	6.9	49.4	$\varphi(CH_4)/\varphi$(空气)$=0.7$
	N_2-CH_3OH 系列	15.0～20.0	0.4	35.0～40.0	0.3	40.0	

（6）氨制备气氛。氨制备气氛包括氨分解气氛和氨燃烧气氛，其典型成分如表 1.6-10 所示。

表 1.6-10　氨制备气氛典型成分

气氛名称	典型成分（体积分数,%）		露点/℃	备　注
	H_2	N_2		
氨分解气氛	75.0	25.0	-40～-60	
氨燃烧气氛	20.0	80.0	-40～-60	φ(空气)/φ(氨)=1.1/1.0
	1.0	99.0	-40～-60	φ(空气)/φ(氨)=15.0/4.0

（7）木炭制备气氛。木炭制备气氛是可控气氛发展早期采用的一种气氛，目前在生产中很少采用，但由于在一定条件下（如靠近林区）使用的可能性，制备方法的简单方便及考虑到可控气氛发展的连续性，标准中仍将其列为一类，其成分如表 1.6-11 所示。

表 1.6-11　木炭制备气氛典型成分

气氛名称	典型成分（体积分数,%）					露点/℃	备注
	CO	CO_2	H_2	CH_4	N_2		
木炭制备气氛	30.0～32.0	1.0～2.0	1.5～7.0	0.0～0.5	余量	-25～+20	燃烧
	32.0～34.0	0.5	—	—	余量	-25～+20	外部加热

（8）氢气。氢气是加热时常用的一种保护气氛，其露点一般在 -50℃左右。区别于其他单组元气体，标准中将氢气列为一类是考虑到实际应用的氢气中含有一定的水分，和氢一起构成多组分气体。同时，H_2 与 H_2O 之间存在平衡关系，所以是可控的。通过调节气氛的露点，可以达到还原、氧化以及脱碳的目的。

2. 可控气氛代号体系

为了使代号使用方便，并且能反映所代表气氛的基本特性，在标准中采用了字母加数字的方法，由 3 部分组成。

第 1 部分为各类气氛名称的单元词（字）的第 1 个汉语拼音字母，代表大类，表示气氛的制备原理、方法、原料气的种类。与 8 大类气氛相对应的基本代号分别为：FQ、XQ、FXQ、YLQ、DQ、AQ、MQ、QQ（F 表示放热式，X 表示吸热式，YL 表示有机液体裂解，D 表示氮基，A 表示氨制备，M 表

示木炭，Q 表示氢气，最后的 Q 表示气氛）。此外，一些附加的制备过程或为区别其制备原理的差别，在大类代号前加一字母，如：J 表示净化，F 表示分解，R 表示燃烧，P 表示普通。

第 2 部分用阿拉伯数字代表气氛的基本组分。基本组分是选择气氛的重要依据，通常指的是气氛中的 H_2、CO、N_2，尤其是对于渗碳气氛，除 H_2、CO、N_2 外，其他组分较少。但对于放热式气氛，除 H_2、CO、N_2 外，还含有较多的 CO_2，有时多达 10%（体积分数）以上。所以仅把 H_2、CO、N_2 作为基本组分是不够的，还需要考虑气氛中的 CO_2。为了规范起见，在标准中把 CO_2 和 CO、N_2、H_2 一起作为气氛的基本组分。另外，我们一般把在气氛中具有较高含量的组分才算作基本组分，但具有不同用途的气氛，对于组分有不同的要求，要给出一个确切的界限，即含量达到多少才能算作基本组分是比较困难的。在标准中规定 CO、N_2、H_2、CO_2 的体积分数小于 1% 时不作为基本组分考虑。基本组分的组成与代号的对应关系如下：

代号	组分系列
1	$CO-CO_2-H_2-N_2$
2	$CO-H_2-N_2$
3	$CO-H_2$
4	$CO-N_2$
5	H_2-N_2
6	H_2
7	N_2

第 3 部分表示制备方式，代号为阿拉伯数字。可控气氛的制备可笼统地分为炉外制备和炉内直接生成 2 种。炉外制备通常是指将原料通过一专门的发生器（如吸热式气氛发生器、放热式气氛发生器、裂解器等）来制备气氛。而炉内直接生成是指将原料直接通入或滴入工作炉内所生成的气氛（如将甲醇直接滴入炉内进行渗碳时的炉内气氛）。为区别这两种制备方式，在代号中采用了“0”和“1”分别表示“炉外制备”和“炉内直接生成”。

3. 贯彻本标准的几条建议

（1）本标准中各类气氛的名称经过广泛的征求意见和充分的讨论，建议在涉及可控气氛的文章中应以本标准的名称为准，使其得到统一。

（2）本标准的分类范围综合考虑了各种不同的意见，建议在撰写有关的文章时应采用本标准的分类范围。

（3）本标准中只列出了 8 大类气氛中典型的气氛类型及代号，对于使用的其他类型的气氛，其代号可参照本标准的代号体系确定。（北京机电研究所徐跃明供稿）

三、标准内容（JB/T 9208—2008）

可控气氛分类及代号

1 范围

本标准规定了热处理用可控气氛的分类及代号。

本标准适用于渗碳、碳氮共渗等化学热处理和保护加热的可控气氛。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标

准。

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

3　术语和定义

GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　净化放热式气氛　purified exothermic atmosphere

将普通的放热式气氛脱水，除去二氧化碳后制成的气氛；或在普通的放热式气氛中加入一定比例的水蒸气，在催化作用下，把气氛中的一氧化碳转变成二氧化碳，再经脱水并除去二氧化碳后制成的气氛。

3.2　有机液体裂解气氛　atmosphere prepared by decomposition of organic liquid

将有机液体（醇、煤油、苯等）直接滴入已加热的工作炉内裂解，或滴入裂解炉内经催化裂解后生成的气氛。

3.3　氨制备气氛　ammonia prepared atmosphere

用氨作为原料气通过部分燃烧或在催化剂作用下加热分解制成的气氛。

3.4　木炭制备气氛　charcoal prepared atmosphere

将一定量的空气通过炽热的木炭制成的气氛。

4　分类

热处理用的可控气氛按其制备方式和气氛基本组分分成下列八类：

第 1 类　放热式气氛；

第 2 类　吸热式气氛；

第 3 类　放热-吸热式气氛；

第 4 类　有机液体裂解气氛；

第 5 类　氮基气氛；

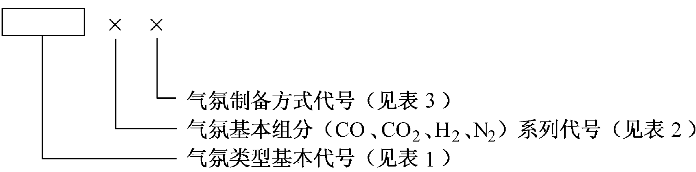
第 6 类　氨制备气氛；

第 7 类　木炭制备气氛；

第 8 类　氢气。

5　代号

可控气氛代号由气氛类型基本代号、基本组分系列代号和气氛制备方式代号三部分组成。



5.1　气氛类型基本代号

由气氛名称的每一个单元词（字）的第一个汉语拼音大写字母组成，见表 1。

表 1　气氛类型基本代号

气氛名称		基本代号	
放热式气氛	普通放热式气氛	FQ	PFQ
	净化放热式气氛		JFQ
吸热式气氛		XQ	

（续）

气氛名称		基本代号	
放热-吸热式气氛		FXQ	
有机液体裂解气氛		YLQ	
氮基气氛		DQ	
氨制备气氛	氨分解气氛	AQ	FAQ
	氨燃烧气氛		RAQ
木炭制备气氛		MQ	
氢气		QQ	

5.2 气氛基本组分系列代号

气氛基本组分系列代号用阿拉伯数字表示，见表2。

表2 气氛基本组分系列代号

气氛基本组分	代号	气氛基本组分	代号
CO-CO_2-H_2-N_2	1	H_2-N_2	5
CO-H_2-N_2	2		
CO-H_2	3	H_2	6
CO-N_2	4	N_2	7

5.3 气氛制备方式代号

气氛制备方式代号用阿拉伯数字表示，见表3。

表3 气氛制备方式代号

制备方式	代号
炉外制备	0
炉内直接生成	1

5.4 可控气氛分类代号示例

普通放热式气氛，气氛基本组分为 CO-CO_2-H_2-N_2，气氛制备方式为炉外制备，其代号为：PFQ10。

5.5 可控气氛分类及代号汇总表

可控气氛分类及代号与典型气氛基本组分、用途汇总见表4。

表4 可控气氛分类及代号汇总表

气氛名称		代号		基本组分	一般用途
放热式气氛	普通放热式	FQ	PFQ10	CO-CO_2-H_2-N_2	铜光亮退火；粉末冶金烧结；低碳钢光亮退火、正火、回火
	净化放热式		JFQ20	CO-H_2-N_2	铜和低碳钢光亮退火；中碳和高碳钢洁净退火、淬火、回火
			JFQ60	H_2	
			JFQ50	H_2-N_2	不锈钢、高铬钢光亮淬火；粉末冶金烧结

（续）

气氛名称		代号		基本组分	一般用途
吸热式气氛		XQ	XQ20	$CO\text{-}H_2\text{-}N_2$	渗碳、复碳、碳氮共渗、光亮淬火、钎焊、高速钢淬火
放热-吸热式气氛		FXQ	FXQ20	$CO\text{-}H_2\text{-}N_2$	渗碳、复碳、碳氮共渗、光亮淬火
有机液体裂解气氛		YLQ	YLQ30	$CO\text{-}H_2$	渗碳、碳氮共渗，一般保护加热
			YLQ31		
氮基气氛	$H_2\text{-}N_2$ 系列	DQ	DQ50	$H_2\text{-}N_2$	低碳钢光亮退火、淬火、回火；钎焊、烧结
	$N_2\text{-}CH$ 系列		DQ71	N_2	中碳钢光亮退火、淬火
	$N_2\text{-}CH\text{-}O$ 系列		DQ21	$CO\text{-}H_2\text{-}N_2$	渗碳
	$N_2\text{-}CH_3OH$ 系列		DQ20		渗碳、碳氮共渗，一般保护加热
			DQ21		
氨制备气氛	氨分解气氛	AQ	FAQ50	$H_2\text{-}N_2$	钎焊、粉末冶金烧结、表面氧化物还原；不锈钢、硅钢光亮退火
	氨燃烧气氛		RAQ50		硅钢光亮退火；不锈钢热处理；钎焊，粉末冶金烧结
			RAQ70	N_2	铜、低碳钢、高硅钢光亮退火；中碳和高碳钢光亮退火、淬火、回火
木炭制备气氛		MQ	MQ10	$CO\text{-}CO_2\text{-}H_2\text{-}N_2$	可锻铸铁退火、渗碳
			MQ40	$CO\text{-}N_2$	高碳钢光亮淬火、退火
氢气		QQ	QQ60	H_2	不锈钢、低碳钢、电工钢、有色合金退火；粉末冶金烧结；硬质合金烧结；不锈钢钎焊

第七节 热处理技术要求在零件图样上的表示方法

一、概论

1. 标准制定的依据和目的

在零件图样上标注热处理技术要求，确保不同地区、不同企业热处理工作者正确理解工件的热处理技术要求，正确制定相应的热处理工艺，和检验人员正确检测热处理工件，判断检测数据是否符合要求，避免热处理工作者之间产生不同理解，制定错误的热处理工艺，或误判产生争执，有必要制定热处理技术要求在图样上的标注标准。

热处理技术要求在零件图样上的标注很早就有，随着热处理技术的不断发展，更多、更详细、更复杂的热处理技术要求在图样上的标注也要不断完善、改进和发展。

2. 国内外情况

本标准最早源自 DIN 6773 的 1976 年、1977 年版本。全国热处理标准化技术委员会 1997 年首次组织制定了机械行业标准 JB/T 8555—1997，标准主要内容取自 DIN 6773，并根据我国情况增删了一些内容，2008 年做了第一次修订，主要对标准格式的修订。目前已有 ISO/CD 15787：2001《技术产品文件 热处理黑色金属零件 表述和表示》（Technical product documentation——Heat-treated ferrous parts presentation and indications，ISO/TC 10/SC 6 N948 ISO/CD 15787），第 1 版（2001），主要内容也是 DIN 6773，第 2 版正在修订中。

热处理技术要求的表示，有零件图样上的表示，专业标准的表示（如 GB/T 16923—2008《钢

件的正火与退火》、GB/T 16924—2008《钢件的淬火与回火》、JB/T 9200—2008《钢铁件的火焰淬火回火处理》、JB/T 9201—2007《钢铁件的感应淬火回火处理》、GB/T 18177—2008《钢件的气体渗氮》、GB/T 22560—2008《钢件的气体氮碳共渗》、JB/T 3999—2007《钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火》等），其他表示，包括对热处理零件材料、热处理设备、工装夹具、工艺、热处理结果检测的要求。热处理技术要求在零件图样上的表示方法，侧重图样上的表示，包括在零件上有一个工艺处理和多种不同工艺处理的情况，检测的位置、方法等，对整体热处理、局部热处理、防渗处理的标注。因此，本标准需与其他热处理专业标准配合使用。

热处理技术要求的标注只对常规技术和已形成共识的成熟的新技术的标注做了规定，对一些未形成共识的新技术和发展中的技术不做规定，待成熟后再收入，但这些技术可通过文字描述和现有的类似标准标注。

热处理技术要求还涉及机械制图的一些内容，如硬度检测点的标志符号，硬化层深度检测位置标志符号和检测点的位置尺寸及公差表示符号，硬度公差、有效硬化层公差、金相组织级别公差等，线条和符号的使用应避免与其他标注重复或出现理解歧义。

本标准制定于1997年，并于2008年修订。

二、标准应用说明

本标准自出版实施以来，受到广大热处理工作者的关注，在实施过程中也发现了不少疑惑和问题。最近几年，我国的热处理标准不断完善，编制和出版实施了很多热处理标准，这些标准来源较广，如来自日本、德国、美国、ISO等标准体系，在一些指标上出现了不一致的情况，有些侧重点也不一致，热处理工作者在标注时产生了疑惑。现将这些标准的不一致的情况和一些建议汇总如下，供热处理工作者参考。

1. 术语和符号

ISO/CD 15787增加了渗碳层深度CD，化合物层厚度CLT，熔化层深度FHD，热处理订单（热处理指令）HTO，热处理规范HTS，内氧化深度IOD。渗碳层深度是指零件渗碳后不直接淬火，渗碳后缓冷下来，对这部分零件渗碳的质量控制标准不能用渗碳硬化层深度来表示，需要使用渗碳层深度的术语，通常指渗碳表面到碳的质量分数为0.35%处的垂直深度，如CD0.35。在ISO/CD 15787：2011的版本中增加了熔化硬化层深度的标注，但未最终确定。GB/T 5617—2005《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》有效硬化层深度符号为Ds，GB/T 9450—2005《钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核》淬硬层深度（渗碳淬火硬化层深度）符号为CHD，GB/T 11354—2005《渗氮层深度测定和金相组织检验》符号为D_N。不同标准中的术语和符号见表1.7-1。

表1.7-1 术语和符号

序号	ISO/CD 15787（修订中）		JB/T 8555—2008		GB/T 7232—2012		GB/T 3480.5—2008①	
	术语名称	代号	术语名称	代号	术语名称	代号	术语名称	代号
1	渗碳层深度	CD			渗碳层深度			
2	渗碳硬化层深度	CHD	渗碳或碳氮共渗淬火回火有效硬化层深度	DC	渗碳淬火有效硬化层深度	D_C	防止点蚀失效的硬化层深度	Eht_{Hopt}
							防止断齿失效的硬化层深度	Eht_{Fopt}
							防止齿面剥落失效的硬化层深度	Eht_C
							有效硬化层深度最小极限值和最大极限值	$Eht_{min/max}$

（续）

序号	ISO/CD 15787（修订中）		JB/T 8555—2008		GB/T 7232—2012		GB/T 3480.5—2008①	
	术语名称	代号	术语名称	代号	术语名称	代号	术语名称	代号
3	化合物层厚度	CLT					白亮层	
4	渗氮硬化层深度	NHD	渗氮有效硬化层深度	DN	渗氮层深度	D_N	有效氮化层深度	1. Nht
							防止齿面剥落的氮化层深度	2. Nhtc
5	表面硬化层深度	SHD	表面淬火回火有效硬化层深度	DS			硬化层深度	
6	熔化硬化层深度	FHD						
7	热处理订单	HTO						
8	热处理规范	HTS						
9	内氧化深度	IOD					晶界内氧化	IGO

① GB/T 3480.5—2008《直齿轮和斜齿轮承载能力计算　第5部分：材料强度和质量》。

从表1.7-1可以看出，对同一术语出现了不同名称和符号，其中ISO/CD 15787最全面，GB/T 3480.5提出了多个硬化层深度概念，但ISO/CD 15787和GB/T 3480.5同出自ISO标准，可见ISO标准也不能对术语名称进行统一。

2. 硬度的标注

（1）表面硬度试验力。本标准规定了不同硬化层深度和最低表面硬度对应的硬度检测试验力，不同硬化层深度和最低表面硬度应用不同的硬度试验力检测，这样才能正确检测硬化层的硬度，如果用较大的硬度试验力检测较浅的硬化层硬度，会打穿硬化层，不能正确反映硬化层的硬度，如果用较小的硬度试验力检测较深硬化层的硬度也不能正确反映硬化层的硬度，因此，合理选择硬度试验力检测硬化层硬度是很必要的，这点是本标准的重点之一。在实际零件图的标注中，也有使用较大硬度试验力来检测硬度的，但这是检测硬化层和基体的综合硬度，不是硬化层的硬度，这个硬度值通常要比硬化层硬度低。本标准规定感应淬火回火、火焰淬火回火最低表面硬度、最小有效硬化层深度对应的维氏硬度、表面洛氏硬度和洛氏硬度的试验力（标准中表2、表3、表4和表9）。

JB/T 3999、GB/T 22560、GB/T 18177、JB/T 9200、JB/T 9201、JB/T 8491.4和JB/T 8491.5均没有规定不同硬化层深度和最低表面硬度对应的检测试验力。JB/T 6956《钢铁件的离子渗氮》规定，表面硬度采用试验力为9.8～98N载荷的维氏硬度计测量；化合物层的硬度必须用试验力为0.49～1.96N的显微维氏硬度计测量。标准范围太宽，实际使用时选择随意性大，检测结果误差较大。

（2）界限硬度。本标准规定了表面淬火以洛氏硬度、表面洛氏硬度和维氏硬度表示最低表面硬度对应的界限硬度值（维氏硬度表示，标准中表5），在GB/T 5617、JB/T 9200、JB/T 9201和GB/T 3480.5规定界限硬度为最低表面硬度的0.8倍。界限硬度规定为最低表面硬度的0.8倍比查本标准的表5更方便，表5的界限硬度也等于平均最低表面硬度的0.8倍，因此在实际标注时，界限硬度可直接取最低表面硬度的0.8倍，不用查表5。渗碳或碳氮共渗淬火回火、渗氮和氮碳共渗的界限硬度规定见表1.7-2。表1.7-2汇总了各标准对硬度试验力和界限硬度的规定。

表1.7-2　对表面硬度试验力和界限硬度的规定

序号	标　　准	硬度检测试验力	界限硬度
1	JB/T 3999《钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火》	未规定	未规定

（续）

序号	标　　准	硬度检测试验力	界 限 硬 度
2	GB/T 22560《钢铁件的气体氮碳共渗》	未规定	未规定
3	GB/T 18177《钢件的气体渗氮》	未规定	未规定
4	JB/T 9200《钢铁件的火焰淬火回火处理》	未规定	最低表面硬度的0.8倍
5	JB/T 9201《钢铁件的感应淬火回火》	未规定	最低表面硬度的0.8倍
6	JB/T 6956《钢铁件的离子渗氮》	表面硬度采用试验力为9.8～98N载荷的维氏硬度计测量 化合物层的硬度必须用试验力为0.49～1.96N的显微维氏硬度计测量	未规定
7	JB/T 8491.4《机床零件热处理技术条件 第4部分：渗碳、碳氮共渗、淬火、回火》	未规定	550HV1
8	JB/T 8491.5《机床零件热处理技术条件 第5部分：渗氮、氮碳共渗》	未规定	未规定
9	GB/T 4340.1《金属材料　维氏硬度试验 第1部分：试验方法》	未规定硬化层深度、最小硬度对应的试验力 提供试样最小厚度-试验力-硬度关系图	
10	GB/T 230.1《金属材料　洛氏硬度试验 第1部分：试验方法》	提供了洛氏硬度值对应的试样或试验层最小厚度对应的洛氏硬度试验力（标尺）	
11	GB/T 5617《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》		最低表面硬度的0.8倍
12	GB/T 9450《钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核》		550HV1或约定
13	GB/T 11354《钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验》		1）基体硬度+50HV 2）碳钢-基体硬度+30HV0.3 3）约定
14	GB/T 3480.5《直齿轮和斜齿轮承载能力计算　第5部分：材料的强度和质量》	1）感应淬火或火焰淬火MQ、ME500～615HV或50～56HRC 2）渗碳MQ、ME58～64HRC或660～800HV 3）渗氮钢ML、MQ、ME最低650HV，最高900HV；调质钢最低450HV 4）氮碳共渗ML、MQ、ME合金钢>500HV，非合金钢>300HV	1）感应淬火或火焰淬火最低硬度的80% 2）渗碳550HV或52HRC 3）渗氮界限硬度为400HV或40.8HRC，如基体硬度大于380HV，界限硬度为基体硬度+50HV
15	JB/T 8555《热处理技术要求在零件图样上的表示方法》	1）表面淬火回火（火焰淬火回火或感应淬火回火）见标准中表2、表3、表4 2）渗碳和碳氮共渗淬火回火见标准中表2、表3、表4 3）渗氮、氮碳共渗见标准中表9	1）表面淬火回火（火焰淬火回火或感应淬火回火）见标准中表5 2）渗碳和碳氮共渗淬火回火550HV1或约定 3）渗氮、氮碳共渗未规定

在GB/T 4340.1《金属材料　维氏硬度试验　第1部分：试验方法》提供了试样最小厚度-试验力-硬度关系图，见图1.7-1。由于此图给出的硬度坐标和厚度坐标刻度较大，给实际选用造成困难，该标准没有针对不同有效硬化层深度和最低表面硬度对应的试验力。JB/T 8555硬化层深度和最低表面硬度与硬度试验力的选择使用了此图，并转换为标准中表2，方便选择。

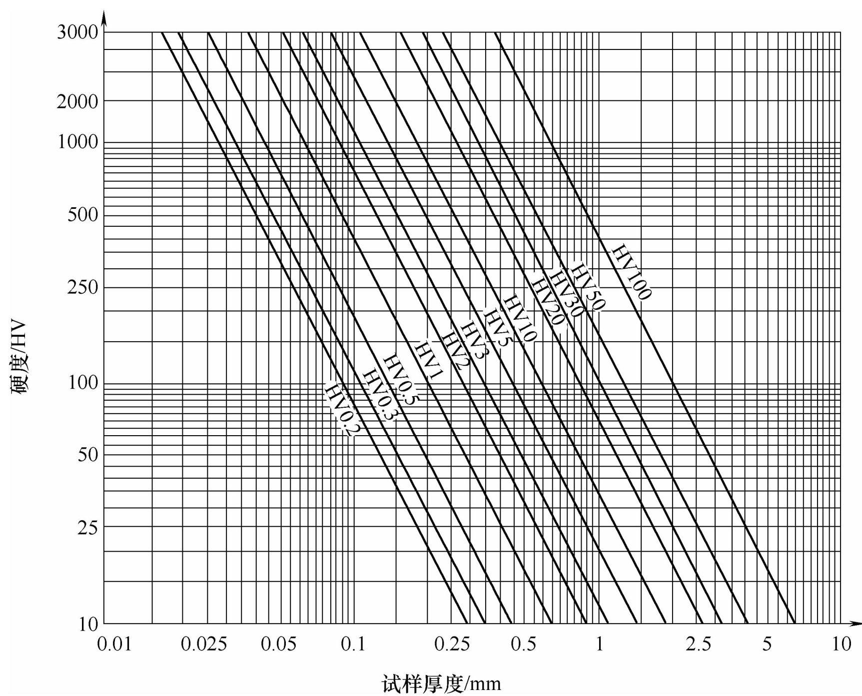


图 1. 7-1　维氏硬度试验试样最小厚度-试验力-硬度关系图

GB/T 230. 1《金属材料　洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法》提供了洛氏硬度值对应的试样或试验层最小厚度对应的洛氏硬度试验力（标尺），见图 1. 7-2、图 1. 7-3。试验层厚度可理解为硬化层深度。JB/T 8555 硬化层深度和最低表面硬度与硬度试验力的选择使用了此图，并转换为标准中的表 4 和表 3，方便选择。

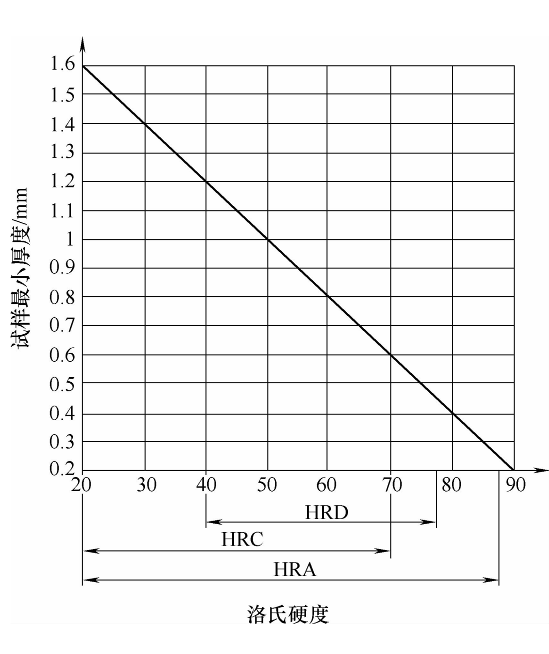


图 1. 7-2　最小试样厚度与洛氏硬度 ACD 标尺

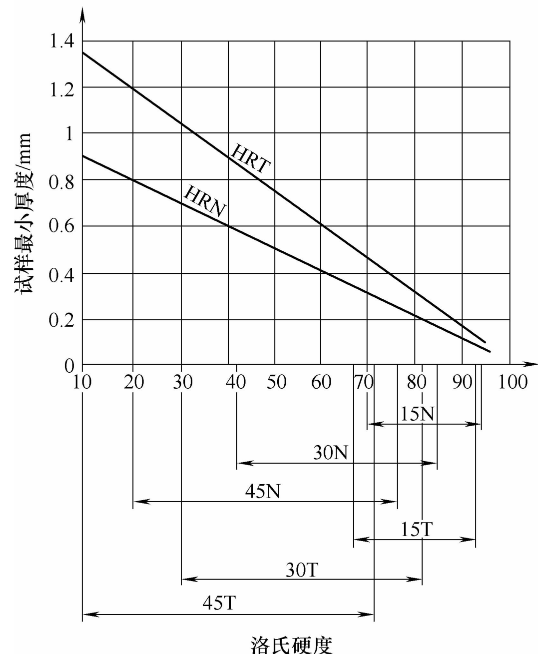


图 1. 7-3　最小试样厚度与表面洛氏硬度 NT 标尺

目前的图样标注中，硬度的标注最难，不同的硬化层深度应标注多大试验力下的硬度，会让很多的图样标注人员，甚至热处理工作者困惑，JB/T 8555 提供的表2、表3 和表4 可方便热处理工作者选择。

（3）表面硬度。JB/T 8555 对表面硬度的大小和公差没有规定，其他专业标准给出了范围和偏差。

3. 硬化层深度偏差的选择

（1）表面淬火。JB/T 8555 规定感应淬火最小硬化层深度从0.1mm 起到1.6mm，对应上偏差为0.1～1.1mm，最大的最小硬化层深度到5mm，5mm 以上未规定；JB/T 9201《钢铁件的感应淬火回火处理》规定最小硬化层深度小于1.5mm，单件上偏差0.2mm，同批上偏差0.4mm，最大5mm 以上。在偏差的选用上，最小硬化层深度小于0.6mm 时，JB/T 8555 比 JB/T 9201 规定的偏差要小；最小硬化层深度大于0.6mm 时，JB/T 8555 比 JB/T 9201 规定的偏差要大，1.6mm 时，JB/T 8555 规定的偏差是1.3mm，而 JB/T 9201 规定的批件偏差是0.6mm，相差2 倍多，5mm 时相差3 倍。

火焰淬火 JB/T 8555 规定火焰淬火最小硬化层深度从1.6mm 起，对应上偏差2.0mm，最小硬化层深度小于3mm 时上偏差大于感应淬火，3mm 以上相同，最大的最小硬化层深度到5mm，5mm 以上未规定，上偏差均比感应淬火大；JB/T 9200 钢铁件的火焰淬火回火处理规定最小硬化层深度小于1.5mm，单件上偏差0.2mm，同批上偏差0.4mm，最大5mm 以上。在偏差的选用上，JB/T 9200和 JB/T 9201 完全相同。

在 JB/T 8491.3《机床零件热处理技术条件　第3 部分：感应淬火、回火》中，将 JB/T 8555 的上偏差列为有效硬化层的极限偏差，而把 JB/T 9201 规定的偏差列为有效硬化层的深度一致性。ISO/CD 15787：2011 标准的偏差选用与 JB/T 8555 相同。

感应淬火的最小硬化层深度一般在1mm 以上，而低于1mm 的硬化层深度很少见。

表面淬火硬化层深度及偏差规定见表1.7-3。

表1.7-3　表面淬火硬化层深度及偏差　（单位：mm）

JB/T 8555—2008			有效硬化层深度 Ds	JB/T 9201—2007		JB/T 9200—2008		JB/T 8491.3—2008	
最小有效淬火硬化层深度 DS	上偏差			感应淬火		火焰淬火		感应淬火	
	感应淬火	火焰淬火		单件	同批	单件	同批	单件	同批
0.1	0.1	—	≤1.5	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
0.2	0.2	—							
0.4	0.4	—							
0.6	0.6	—							
0.8	0.8	—							
1	1.0	—							
1.3	1.1	—							
1.6	1.3	2.0	>1.5～2.5	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6
2	1.6	2.0							
2.5	1.8	2.0							
3	2.0	2.0	>2.5～3.5	0.6	0.8	0.6	0.8	0.6	0.8
4	2.5	2.5	>3.5～5	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0
5	3.0	3.0							
>5			>5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.2

（2）渗碳淬火。JB/T 8555 规定渗碳淬火的硬化层深度从0.05mm 开始，最大3.0mm，3.0mm

以上未规定；JB/T 3999《钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火》规定的硬化层深度从小于 0.5mm 到大于 2.5mm，实际上在我们目前见到的渗碳硬化层深度范围，小于 0.3mm 的没有，一般在 0.3mm 以上，小于 0.3mm 一般使用渗氮，JB/T 10175《热处理质量控制要求》规定在有效加热区区内硬化层深度的极限偏差使用正负号，偏差最小，渗碳淬火硬化层深度及偏差见表 1.7-4。

表 1.7-4　渗碳淬火硬化层深度及偏差　（单位：mm）

JB/T 8555—2008		硬化层深度	JB/T 3999—2007		JB/T 8491.4—2008		JB/T 10175—2008
渗碳硬化深度	上偏差		上偏差		上偏差		有效加热区内极限偏差
			单件	同批	单件	同批	mm
0.05	0.030	≤0.5	0.1	0.2	0.1	0.2	±0.05
0.07	0.050						
0.10	0.100						
0.30	0.200						
0.50	0.300						
0.80	0.400	>0.5～1.5	0.2	0.3	0.2	0.3	±0.1
1.20	0.500						
1.60	0.600	>1.5～2.5	0.3	0.4	0.3	0.4	±0.15
2.00	0.800						
2.50	1.000						
3.00	1.200	>2.5	0.5	0.6			±0.25

在 JB/T 8491.4《机床零件热处理技术条件第 4 部分：渗碳与碳氮共渗淬火、回火》中，将 JB/T 8555 的上偏差列为有效硬化层的极限偏差，而把 JB/T 3999 规定的偏差列为有效硬化层的深度一致性。

渗碳淬火硬化层偏差的差别和选用同表面淬火。

（3）渗氮

1）渗氮层深度。JB/T 8555 规定渗氮硬化层深度从 0.05mm 开始，最大 0.75mm，0.75mm 以上未规定；GB/T 18177《钢件的气体渗氮》、JB/T 6956《钢铁件的离子渗氮》、JB/T 8491.5《机床零件热处理技术条件　第 5 部分：渗氮与氮碳共渗》、GB/T 22560《钢铁件的气体氮碳共渗》分为小于 0.3mm、0.3～0.6mm、大于 0.6mm 3 个级别，JB/T 8555 当渗氮硬化深度大于 0.4mm 后，偏差比其他标准规定大，JB/T 10175《热处理质量控制要求》规定在有效加热区区内渗氮层深度的极限偏差使用正负号，偏差最小，渗氮硬化层深度及偏差见表 1.7-5。

表 1.7-5　渗氮硬化深度及偏差　（单位：mm）

JB/T 8555—2008			GB/T 18177—2008		JB/T 6956—2007		JB/T 8491.5—2008		GB/T 22560—2008		JB/T 10175—2008
渗氮硬化深度	上偏差	渗氮层深度	渗氮硬化深度								有效加热区内极限偏差
			单件	同批	单件	同批	单件	同批	单件	同批	
0.05	0.02	<0.3	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	±0.01
0.1	0.05										
0.15	0.05										±0.025
0.2	0.1										
0.25	0.1										±0.035

（续）

JB/T 8555—2008			GB/T 18177—2008		JB/T 6956—2007		JB/T 8491.5—2008		GB/T 22560—2008		JB/T 10175—2008
渗氮硬化深度	上偏差	渗氮层深度	渗氮硬化深度								有效加热区内极限偏差
			单件	同批	单件	同批	单件	同批	单件	同批	
0.3	0.1	0.3～0.6	0.10	0.15	0.10	0.15	0.10	0.15	0.05	0.10	±0.035
0.35	0.15								0.10	0.15	
0.4	0.2										
0.5	0.25										
0.6	0.3										±0.05
0.75	0.3	>0.6	0.15	0.20	0.15	0.20	0.15	0.20	0.15	0.20	

2）氮碳共渗的化合物层厚度及公差。JB/T 8555 规定氮碳共渗化合物层厚度从 5μm 到 24μm，偏差规定比 GB/T 22560 稍大。氮碳共渗化合物层厚度与偏差见表 1.7-6。

表 1.7-6　氮碳共渗化合物层厚度与偏差　　（单位：μm）

JB/T 8555—2008		GB/T 22560—2008		JB/T 8555—2008		GB/T 22560—2008	
化合物层厚度 CLT	上极限偏差	化合物层厚度		化合物层厚度 CLT	上极限偏差	化合物层厚度	
		单件	同批			单件	同批
5	3	2	3	15	8	6	7
8	4	4	5				
10	5	4	5	20	10	6	7
12	6	6	7	24	12	8	10

在相关标准中规定了单件和批件的上偏差，单件是指同一工件，批件是指同炉冶炼材料同一周期炉次处理工件或连续炉的同一工艺条件下处理的一批工件，对不同冶炼炉次材料或不同周期炉处理工件没有说明，在图样标注时没有单件和同批的概念，标注应考虑不同冶炼炉次材料或不同周期热处理炉的偏差范围，同时如果考虑统计过程控制 SPC 的过程能力指数 Cpk，如容许批量生产的 Cpk≥1.33（Cpk1.33 = ±4σ =99.9973%），实际容许的偏差范围也不会太大，即虽然标注的偏差较大，实际可用的偏差范围不大。如果企业使用统计过程控制 SPC 对硬化层深度进行控制，在图样上标注硬化层偏差时选用标准中的表 6、表 7、表 8 和表 10 推荐的偏差是合理的，但我国的企业都是用公差控制法控制产品质量，即只要产品数据在公差范围内就是合格的，这时 JB/T 8555 推荐的偏差就显得过大，在图样标注时可以参考专业标准数据。

4. 硬度检测点的表示

JB/T 8555 给出了硬度检测点符号，但未给出符号的比例关系，ISO/CD 15787 给出了一个和多个硬度检测点符号和符号比例关系，见图 1.7-4、图 1.7-5。

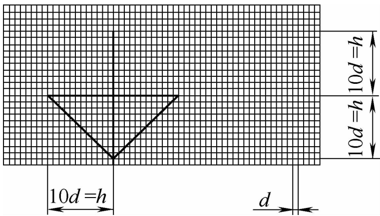


图 1.7-4　硬度检测点符号测量点位置

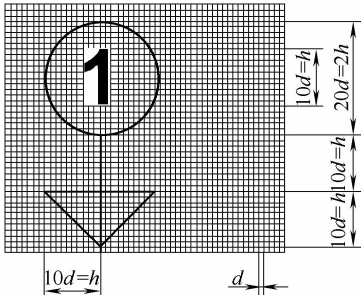


图 1.7-5　多个硬度检测点符号

［爱协林热处理系统（北京）有限公司殷汉奇供稿］

三、标准内容（JB/T 8555—2008）

热处理技术要求在零件图样上的表示方法

1　范围

本标准规定了钢制零件热处理技术要求在零件图样上的表示方法。

本标准适用于各种钢制的机械零件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 131　机械制图　表面粗糙度符号、代号及其注法（GB/T 131—2006，ISO 1302：2002，IDT）

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）[ISO 6508-1：1999（Metallic materials-Rockwell hardness test-Part 1：Test method（Scales A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T），MOD）

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第1部分：试验方法［GB/T 231.1—2002，eqv ISO 6506：1999（E）］

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507：1997）

GB/T 5617　钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度测定（GB/T 5617—2005，ISO 3754：1976，NEQ）

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2039：2002，MOD）

GB/T 9451　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化深度的测定（GB/T 9451—2005，ISO 4970：1979（E），MOD）

GB/T 11354　钢铁零件　渗氮层深度测定和金相组织检验

JB/T 6050—2006　钢铁热处理零件硬度测试通则

JB/T 6956　离子渗氮

3　总则

3.1　零件图样上的热处理技术要求（以下简称技术要求）是制成品零件热处理最终状态（以下简称最终状态）应达到的技术指标。

3.2　热处理技术要求可以用已标准化的符号、代号标注，也可以用文字说明，文字说明一般写在图面右下角标题栏上方，与其他工艺的技术要求写在一起。特殊情况允许写在图面其他部位的空白处。能在图形上标注的，尽量避免用文字说明。

3.3　技术要求标注必须简明、准确、完整、合理。如果技术内容要求较多，且另有技术标准或技术规范时，除标注主要内容外，可写明按某标准或某技术规范执行。

3.4　技术要求的指标值，一般采用范围表示法标出上、下限，如60～65HRC；DC=0.8～1.2。也可用偏差表示法以技术要求的下限名义值下偏差零加上上偏差表示，如60^{+5}_{0}HRC；DC=$0.8^{+0.4}_{0}$。

特殊情况也可只标注下限值或上限值，如不小于50HRC，不大于299HBW。

在同一产品的所有零件图样上，应采用统一的表达形式。

3.5 各种表面热处理零件均应注有效硬化深度，其代号、定义和测定方法见表1。

表1 各种表面热处理零件有效硬化层深度和测定方法

表面热处理方法	有效硬化层深度代号	单 位	定义和测量方法标准
表面淬火回火	DS	mm	深度 >0.3mm 时按 GB/T 5617 深度≤0.3mm 时按 GB/T 9451
渗碳或碳氮共渗淬火回火	DC		深度 >0.3mm 时按 GB/T 9450 深度≤0.3mm 时按 GB/T 9451
渗氮	DN		按 GB/T 11354

注：标注时单位（mm）可省略。

3.6 局部热处理零件需将有硬化要求的部位按 GB/T 131 的规定，在图形上用粗点画线框出。如果是轴对称零件或在不致引起误会情况下，也可用一条粗点画线画在热处理部位外侧表示，其他部位即硬化与不硬化均可的过渡部位用虚线表示，不允许硬化或不要硬化的部位则不必标注。

3.7 要求零件硬度检测必须在指定点（部位）时，用图1符号表示，其尺寸大小应与 GB/T 131 规定的局部热处理指示符号一致。指定硬度测量点位置时，应符合 JB/T 6050—2006 中第6章的规定。

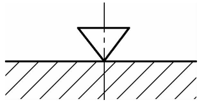


图1 硬度测量点符号标注方法

3.8 如零件形状复杂或其他原因（如与其他工艺标注容易混淆）热处理技术要求难以标注，用文字说明又不易表达时，可另加附图表示，此时附图上与热处理无关的内容均可省略，见图2。

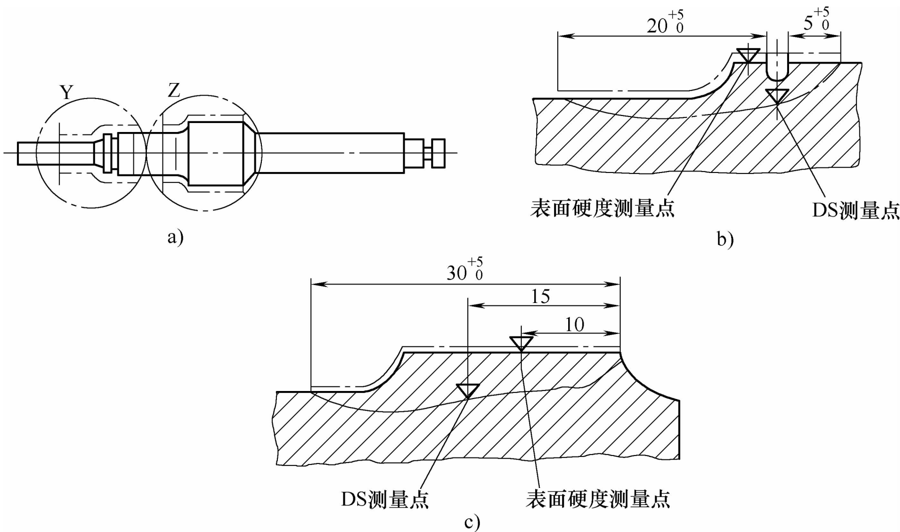


图2 复杂零件热处理技术要求的标注方法

a）零件热处理标注图 b）Y部热处理技术要求的标注图 c）Z部热处理技术要求的标注图

3.9 标注除硬度以外的其他力学性能要求时（如强度、冲击韧度等），应在零件图样上注明具体技术指标和取样方法。

3.10　零件热处理的外观质量或者无法用量值表达的要求，可用文字说明。

4　正火、退火及淬火回火（含调质）零件

4.1　以正火、退火或淬火回火（含调质）作为最终热处理状态的零件一般标注硬度要求。通常以布氏硬度（GB/T 231.1）或洛氏硬度（GB/T 230.1）表示。也可以用其他硬度表示。

4.2　同一零件的不同部位有不同热处理技术要求时，应在零件图样上分别注明。

4.3　局部热处理零件必须在技术要求的文字说明中写明局部热处理。并在图样上按3.4和3.6的规定标出需热处理的部位和技术要求，见图3。

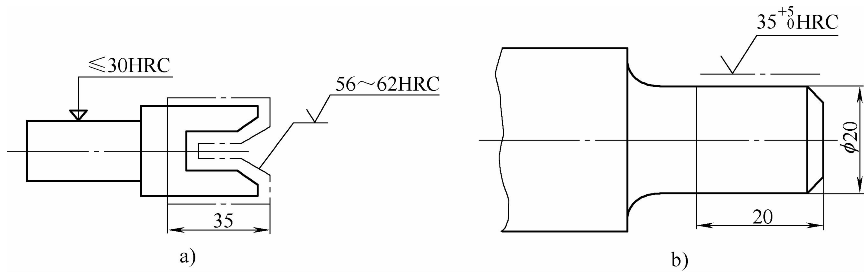


图3　局部热处理零件技术要求的标注方法

a）范围表示法　b）偏差表示法

5　表面淬火、回火零件

5.1　一般技术要求

感应加热淬火回火和火焰加热淬火回火零件标注的主要技术要求是表面硬度、心部硬度和有效硬化层深度。

5.2　表面硬度

表面硬度的标注包括两部分，即要求硬度值和相应的试验力，而试验力的选取又与要求的最小有效硬化层深度有关。表面硬度的测量应符合GB/T 230.1、GB/T 4340.1的规定。

以维氏硬度表示时，最低表面硬度、最小有效硬化层深度与硬度试验力之间的关系见表2。表内试验力为最大允许值，也可以用较低的试验力代替表中所列值，如用HV10代替HV30。

表2　以维氏硬度表示时最低表面硬度值、最小有效硬化层深度与试验力之间的关系

最小有效硬化层深度/mm	最低表面硬度 HV				最小有效硬化层深度/mm	最低表面硬度 HV			
	400～500	>500～600	>600～700	>700		400～500	>500～600	>600～700	>700
0.05	—	HV0.5	HV0.5	HV0.5	0.45	HV10	HV10	HV30	HV30
0.07	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV1	0.50	HV10	HV30	HV30	HV50
0.08	HV0.5	HV0.5	HV1	HV1	0.55	HV30	HV30	HV50	HV50
0.09	HV0.5	HV1	HV1	HV1	0.60	HV30	HV30	HV50	HV50
0.10	HV1	HV1	HV1	HV1	0.65	HV30	HV50	HV50	HV50
0.15	HV3	HV3	HV3	HV3	0.70	HV50	HV50	HV50	HV50
0.20	HV5	HV5	HV5	HV5	0.75	HV50	HV50	HV50	HV100
0.25	HV5	HV5	HV10	HV10	0.80	HV50	HV100	HV100	HV100
0.30	HV10	HV10	HV10	HV10	0.90	HV50	HV100	HV100	HV100
0.40	HV10	HV10	HV10	HV30	1.00	HV100	HV100	HV100	HV100

以洛氏硬度表示时，最低表面硬度、最小有效硬化层深度与试验力之间的关系见表 3 和表 4。

5.3 心部硬度

对表面淬火零件的心部硬度有要求时，应予标注。经有关各方协商同意，允许以预备热处理后的硬度值为准。

表 3 以表面洛氏硬度表示时最低表面硬度、最小有效硬化层深度与试验力之间的关系

最小有效硬化层深度/mm	最低表面硬度（以 HR…N 表示）										
	82～85	>85～88	>88	>60～68	>68～73	>73～78	>78	44～54	>54～61	>61～67	>67
0.10	—	—	HR15N	—	—	—	—	—	—	—	—
0.15	—	HR15N	HR15N	—	—	—	—	—	—	—	—
0.20	HR15N	HR15N	HR15N	—	—	—	NR30N	—	—	—	—
0.25	HR15N	HR15N	HR15N	—	—	NR30N	NR30N	—	—	—	—
0.35	HR15N	HR15N	HR15N	—	NR30N	NR30N	NR30N	—	—	—	HR45N
0.40	HR15N	HR15N	HR15N	NR30N	NR30N	NR30N	NR30N	—	—	HR45N	HR45N
0.50	HR15N	HR15N	HR15N	NR30N	NR30N	NR30N	NR30N	—	HR45N	HR45N	HR45N
≥0.55	HR15N	HR15N	HR15N	NR30N	NR30N	NR30N	NR30N	HR45N	HR45N	HR45N	HR45N

表 4 以洛氏硬度 A 标尺或 C 标尺表示时最低表面硬度、最小有效硬化层深度与试验力之间的关系

最小有效硬化层深度/mm	最低表面硬度							
	HRA				HRC			
	70～75	>75～78	>78～81	>81	40～49	>49～55	>55～60	>60
0.4	—	—	—	HRA	—	—	—	—
0.45	—	—	HRA	HRA	—	—	—	—
0.5	—	HRA	HRA	HRA	—	—	—	—
0.6	HRA	HRA	HRA	HRA	—	—	—	—
0.8	HRA	HRA	HRA	HRA	—	—	—	HRC
0.9	HRA	HRA	HRA	HRA	—	—	HRC	HRC
1.0	HRA	HRA	HRA	HRA	—	HRC	HRC	HRC
1.2	HRA	HRA	HRA	HRA	HRC	HRC	HRC	HRC

5.4 有效硬化层深度

表面淬火零件有效硬化层深度的标注包括三个部分，即硬化层深度代号（见表 1）、界限硬度值和要求的深度。在图样上的标注方法见 5.5。

界限硬度值可根据最低表面硬度按表 5 选取。特殊情况，也可采用其他界限硬度值，但此时在 DS 后必须注明商定的界限硬度值。

零件的有效硬化层深度分级及上偏差可参照表 6。火焰淬火的有效硬化层深度通常不应小于 1.6mm。

表 5 表面淬火界限硬度值

界限硬度值 HV	最低表面硬度					
	HRA	HR15N	HR30N	HR45N	HV	HRC
250	65～70	75～76	51～53	32～35	300～330	32～33
275	68	77～78	54～55	36～38	335～355	34～36

（续）

界限硬度值 HV	最低表面硬度					
	HRA	HR15N	HR30N	HR45N	HV	HRC
300	69 ~ 70	79	56 ~ 58	39 ~ 41	360 ~ 385	37 ~ 38
325	71	80 ~ 81	59 ~ 62	42 ~ 46	390 ~ 420	40 ~ 42
350	72 ~ 73	82 ~ 83	63 ~ 64	47 ~ 49	425 ~ 455	43 ~ 45
375	74	84	65 ~ 66	50 ~ 52	460 ~ 480	46 ~ 47
400	75	85	67 ~ 68	53 ~ 54	485 ~ 515	48 ~ 49
425	76	86	69 ~ 70	55 ~ 57	520 ~ 545	50 ~ 51
450	77	87	71	58 ~ 59	550 ~ 575	52 ~ 53
475	78	88	72 ~ 73	60 ~ 61	580 ~ 605	54
500	79	89	74	62 ~ 63	610 ~ 635	55 ~ 56
525	80	—	75 ~ 76	64 ~ 65	640 ~ 665	37
550	81	90	77	66 ~ 67	670 ~ 705	58 ~ 59
575	82	—	78	68	710 ~ 730	60
600	—	91	79	69	735 ~ 765	61 ~ 62
625	83	—	80	70	770 ~ 795	63
650	—	92	81	71 ~ 72	800 ~ 835	64
675	84	—	82	73	840 ~ 865	65

表 6　表面淬火有效硬化层深度分级和相应的上偏差　（单位：mm）

最小有效硬化层深度 DS	上　偏　差		最小有效硬化层深度 DS	上　偏　差	
	感应淬火	火焰淬火		感应淬火	火焰淬火
0. 1	0. 1	—	1. 6	1. 3	2. 0
0. 2	0. 2	—	2. 0	1. 6	2. 0
0. 4	0. 4	—	2. 5	1. 8	2. 0
0. 6	0. 6	—	3. 0	2. 0	2. 0
0. 8	0. 8	—	4. 0	2. 5	2. 5
1. 0	1. 0	—	5. 0	3. 0	3. 0
1. 3	1. 1	—			

5. 5　标注示例

示例：图 4 所示为局部感应加热淬火回火标注方法，该例表示：离轴端 15mm ± 5mm 处开始，在长 30^{+5}_{0}mm 一段内感应加热淬火回火，表面硬度 620 ~ 780HV30，有效硬化层深度 0. 8 ~ 1. 6mm。

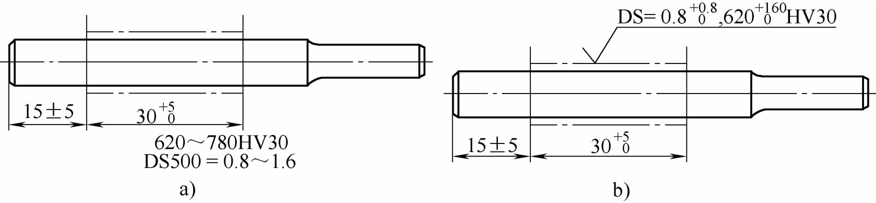


图 4　局部感应加热淬火回火标注方法

a）范围表示法　b）偏差表示法

6 渗碳和碳氮共渗零件

6.1 一般技术要求

渗碳后淬火回火和碳氮共渗后淬火回火零件标注的主要技术要求是表面硬度、心部硬度和有效硬化层深度。其他技术要求（如渗层金相组织、渗层碳浓度或硬度分布、心部力学性能等）按3.3的规定执行。

6.2 表面硬度

渗碳后淬火回火和碳氮共渗后淬火回火零件的表面硬度要求，通常以维氏硬度或洛氏硬度表示，对应的最小有效硬化层深度和试验力与表面淬火零件相同。

6.3 心部硬度

对渗碳后淬火回火或碳氮共渗后淬火回火零件的心部硬度有要求时，应予标注。

6.4 渗层的有效硬化层深度

渗碳后淬火回火或碳氮共渗后淬火回火零件的有效硬化层深度（DC）在图样上的表示方法，与表面淬火有效硬化层深度DS基本相同。在图样上的标注方法见6.5。

渗碳后淬火回火或碳氮共渗后淬火回火的界限硬度值是恒定的，通常取550HV1，标注时一般可省略。特殊情况下可以不采用550HV1作界限硬度值，此时DC后必须注明商定的界限硬度值和试验力。

推荐的渗碳后淬火回火或碳氮共渗后淬火回火零件有效硬化层深度（DC）及上偏差见表7。

表7 推荐的渗碳后淬火回火或碳氮共渗淬火回火零件有效硬化层深度及上偏差

（单位：mm）

有效硬化层深度DC	上偏差	有效硬化层深度DC	上偏差	有效硬化层深度DC	上偏差
0.05	0.030	0.50	0.300	2.00	0.800
0.07	0.055	0.80	0.400	2.50	1.000
0.10	0.100	1.20	0.500	3.00	1.200
0.30	0.200	1.60	0.600		

6.5 标注示例

示例：图5所示为局部渗碳标注方法，对零件不同部位有不同的要求，要求渗碳后淬火回火部位用粗点画线框出；有的部位允许同时渗碳淬硬也可以不渗碳淬硬，视工艺上是否有利而定，用虚线表示；未标出部位，即不允许渗氮也不允许淬硬。

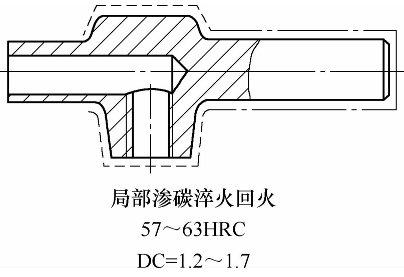


图5 局部渗碳标注方法

7 渗氮零件

7.1 一般技术要求

气体渗氮或离子渗氮零件的主要技术要求是表面硬度、心部硬度和有效渗氮层深度。某些零件还有渗氮层脆性要求。其他技术要求（如渗氮层金相、渗氮层硬度分布、心部力学性能等）按3.3的规定执行。

7.2 表面硬度

零件渗氮后的表面硬度与零件材质和预备热处理有密切关系。在正常工艺条件下，常用渗氮材料能达到的硬度范围可参照JB/T 6956。

表面硬度因有效渗氮层深度不同而有差异，标注是应准确选择。表面硬度值的测量应符合GB/T 4340.1的有关规定。

有效渗氮层深度不大于0.3mm时按GB/T 9451执行，大于0.3mm时按GB/T 11354执行。

经协商同意，也可以采用其他硬度检测方法表示。

7.3　心部硬度

对渗氮零件心部硬度有要求时，应特别注意。心部硬度通常允许以预备热处理后的检测结果为准，以维氏硬度、布氏硬度或洛氏硬度表示。

7.4　有效渗氮层深度

图样上标注渗氮层深度，除非另有说明，一般均指有效渗氮层深度（见3.5）。其表示方式与DS、DC基本相同，在图样上的标注方式见7.6。

采用2.94N（0.3kgf）的维氏硬度试验力测量有效渗氮层深度DN时，DN后不标注界限硬度值；当采用其他试验力时，应在DN后加试验力值，如DN HV0.5 =0.3 ~0.4。

一般零件推荐的最小有效渗氮层深度（DN）及上偏差见表8。

表8　推荐的最小有效渗氮层深度及上偏差　（单位：mm）

有效渗氮层深度DN	上偏差	有效渗氮层深度DN	上偏差
0.05	0.02	0.35	0.15
0.10	0.05	0.40	0.20
0.15	0.05	0.50	0.25
0.20	0.10	0.60	0.30
0.25	0.10	0.75	0.30
0.30	0.10		

技术要求的最小有效渗氮层深度、最低表面硬度与硬度试验力之间的关系见表9。表内检验方法通常是指允许采用最大试验力，允许用较低的试验力代替表中规定的试验力，如用HV10代替HV30。

表9　技术要求的最小有效渗氮层深度、最低表面硬度与硬度试验力之间的关系

最小有效渗氮层深度/mm	最低表面硬度HV						
	200 ~300	>300 ~400	>400 ~500	>500 ~600	>600 ~700	>700 ~800	>800
0.05	—	—	—	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV0.5
0.07	—	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV1	HV1
0.08	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV1	HV1	HV1
0.09	HV0.5	HV0.5	HV0.5	HV1	HV1	HV1	HV1
0.1	HV0.5	HV1	HV1	HV1	HV1	HV1	HV3
0.15	HV1	HV1	HV3	HV3	HV3	HV3	HV5
0.2	HV1	HV3	HV5	HV5	HV5	HV5	HV5
0.25	HV3	HV5	HV5	HV5	HV10	HV10	HV10
0.3	HV3	HV5	HV10	HV10	HV10	HV10	HV10
0.4	HV5	HV10	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30
0.45	HV5	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30
0.5	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30	HV30
0.55	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30	HV50	HV50

（续）

最小有效渗氮层深度/mm	最低表面硬度 HV						
	200～300	>300～400	>400～500	>500～600	>600～700	>700～800	>800
0.6	HV10	HV10	HV30	HV30	HV50	HV50	HV50
0.65	HV10	HV30	HV30	HV50	HV50	HV50	HV50
0.7	HV10	HV30	HV50	HV50	HV50	HV50	HV50
0.75	HV20	HV30	HV50	HV50	HV50	HV100	HV100

7.5　总渗氮层深度

总渗氮层深度是氮渗入的总深度，一般指从表面测量到与基体的硬度或组织无差别处的垂直距离（单位 mm）。

总渗氮层深度包括化合物层和扩散层两部分。零件以化合物层深度代替 DN 要求时，应特别说明。厚度要求随零件服役条件不同而改变，一般零件推荐的化合物层厚度及公差值见表 10。

表 10　推荐的化合物层厚度及公差　（单位：mm）

化合物层厚度	上偏差	化合物层厚度	上偏差
0.005	0.003	0.015	0.008
0.008	0.004	0.020	0.010
0.010	0.005	0.024	0.012
0.012	0.006		

7.6　标注示例

示例：图 6 所示为渗氮零件的标注方法，渗氮部位边缘以粗点画线予以标注，并规定了硬度测定点位置。虚线部位允许渗氮或不允许渗氮是对工艺是否有利而决定。未标注部位不允许渗氮，如需防渗，必须说明。

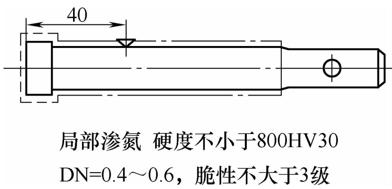


图 6　渗氮零件的标注方法

8　其他热处理零件

其他热处理零件的热处理技术要求在零件图样上的表示方法可参照第 3 章的规定执行。

第二章　热处理工艺标准

第一节　钢件的正火与退火

一、概论

正火与退火常作为预备热处理安排在零件的加工流程中，用以消除冶金及冷热加工过程中产生的缺陷，并为以后的机械加工及热处理准备良好的组织状态。对性能要求不高的钢件，正火亦可作为最终热处理。由此可见，正火与退火处理对机械产品的质量及使用寿命有着不容忽视的影响。所以，有必要制定我国机械行业通用的正火与退火处理工艺技术标准，以迅速提高和稳定机械产品的质量水平，增强我国机械产品在国际市场的竞争能力。

本标准是钢铁热处理中对钢的正火与退火处理工艺技术所做的规定。在标准的编制中，进行了大量的资料及数据的搜集和分析。其中，着重参考了日本 JIS B 6911：1971《钢铁的正火与退火处理》、美国 MIL-H-6875B《钢的热处理》等国外现行的热处理工艺技术标准。同时，对国内汽车、机床、轴承、重型机械、工模具等行业的热处理现状进行了调研和征询意见，并进行了必要的试验验证工作。

JB 3814—1985《钢的正火与退火处理》是最早制定的热处理标准之一。当时是参照日本 JIS B 6911：1971《钢铁的正火与退火处理》制定的，该标准已先后被 JIS B 6911：1987（1999）取替。考虑到正火与退火是热处理的主要工艺方法之一，应用量大面广，而不仅仅限于机械行业。1994 年全国热处理标准化技术委员会提出，经国家技术监督局批准列入 1995 年的国家标准立项计划，由北京机电研究所负责起草本标准，1997 年颁布，2008 年再次修订。

采用国际标准是我国的国策。进一步深化采用国际标准和国外先进标准，切实推进与国际惯例接轨是标准化工作的方向。本着这一原则，在制定本标准时，等效采用了 JIS B 6911：1987 标准，以力求使本标准达到国外先进标准的水平。

本标准与 JIS B 6911：1987（1999）《钢铁的正火与退火处理》相比，其主要技术内容大致相同。具体指标对比列于表 2. 1-1。

表 2. 1-1　GB/T 16923 与 JIS B 6911 主要技术指标的对比

主要技术指标	JIS B 6911：1987（1999）	GB/T 16923—1997	GB/T 16923—2008
工艺分类代号	按 JIS B 0122	按 GB/T 12603	按 GB/T 12603
工件的材料	列出日本钢号	按我国有关标准	按我国有关标准
工件处理前的状态	按 5 个项目记录	等同 JIS	等同 JIS
加热炉有效加热区温度偏差值	±15℃、±25℃	±15℃、±25℃、±30℃、±35℃	±10℃、±15℃、±20℃
硬度均匀性要求	对 5 类工艺提出不同的要求值	等同 JIS	等同 JIS

二、标准应用说明

1. 范围

标准中第 1 章“范围”指出主要适用于钢制工件的正火与退火，不包括铸铁件，也不包括用

感应加热、火焰加热等的正火与退火。铸铁件的正火与退火可根据 JB/T 7529《可锻铸铁热处理》和 JB/T 7711《灰铸铁件热处理》进行。

2. 定义

标准中第3章“定义”对 GB/T 7232《金属热处理工艺 术语》已有的术语则不再列出，只列出了 JIS B 6911 中的畸变一个定义。

3. 正火与退火工艺分类代号及应用范围

JIS B 6911 有工艺分类代号一章，我国有 GB/T 12603《金属热处理工艺分类代号》。所以本标准根据上述标准，编写了这一章内容。

（1）正火。根据 GB/T 7232 中对正火含义的解释为工件加热奥氏体化后，在空气中冷却的热处理工艺。正火工艺分为常规正火和高温正火两类。

所谓常规正火，即将钢材或钢件加热到 Ac_3（或 Ac_{cm}）以上 30～50℃的正火工艺，这是热处理生产中广泛采用的一种正火方法。常规正火的主要应用范围如下：

1）对过共析碳钢及合金钢，通过正火时的加热及其随后的空冷或强制冷却可消除网状碳化物，细化片状珠光体组织，有利于在球化退火中获得均匀细小的球状碳化物，以改善钢的组织与性能。

2）对于低碳钢和某些低合金结构钢，由于退火组织中铁素体过多，硬度偏低，在切削加工时易“黏刀”。而采用正火处理（冷却速度较快），可得到量多且细小的珠光体组织，提高硬度，以改善切削加工性能。对于中低碳钢和合金结构钢，通过正火可消除应力，细化组织，可代替完全退火而作为淬火前的预备热处理。

3）由于正火组织比较细，所以比退火状态具有较好的综合力学性能（见表 2.1-2），而且工艺过程简单。因此，对于某些要求不很高的普通结构件，正火可作为最终热处理而直接使用。

表 2.1-2 40Cr 钢正火与退火后的力学性能

热处理状态	力学性能				
	R_m/MPa	$R_{p0.2}$/MPa	A(%)	Z(%)	a_K/(J/cm^2)
退火	643.3	357.0	21	53.5	54.9
正火	739.4	441.3	21	56.9	76.5

4）用于某些碳钢、低合金钢的淬火返修件，以消除内应力和细化组织，防止重淬时产生畸变与开裂。

所谓高温正火，即将铸、锻件加热到 Ac_3 以上 100～150℃的正火。其目的是通过相变重结晶消除热加工过程中形成的过热组织，并使第二相充分溶入奥氏体中。通常在高温正火后还应进行一次常规正火，使奥氏体晶粒细化以获得细珠光体组织。

（2）退火。从物理冶金过程特点出发，可将退火工艺分成两类：第一类退火和第二类退火。

1）第一类退火。这一类退火工艺有：扩散退火、再结晶退火、去氢退火、去应力退火。

第一类退火是不以组织转变为目的的退火工艺方法。其工艺特点是通过控制加热温度和保温时间以改变钢的热力学与动力学条件，使其靠浓度梯度、应力梯度、界面能等自发地由冶金及冷热加工过程中产生的不平衡状态（如成分偏析、加工硬化、内应力等）过渡到平衡状态。在整个工艺过程中，加热与冷却速度的变化对改变这种状态不起主导作用。

2）第二类退火。这一类退火工艺有：完全退火、不完全退火、等温退火、球化退火。

第二类退火是以改变组织与性能为目的的退火工艺方法。其工艺特点是通过控制加热温度、保温时间及冷却速度等工艺参数，来改变钢中的珠光体、铁素体、碳化物等组织形态及分布，从而改

变其性能，如降低硬度、提高塑性、细化晶粒、改善机械加工性能等。

表 2.1-3 为这两类退火的工艺特点及应用范围。

表 2.1-3　两类退火的工艺特点及应用范围

类别	工艺名称	工艺特点	主要目的	应用范围
第一类退火	扩散退火	加热至 Ac_3 +（150～200）℃，长时间保温后缓冷	成分和组织均匀化	铸件及具有成分偏析的锻轧件等
	再结晶退火	加热至再结晶温度 T_z +（100～250）℃，保温后缓冷	消除加工硬化	冷变形钢材和钢件
	去氢退火	热形变加工后的钢件直接冷至 C 曲线鼻尖附近等温	消除钢中的氢	钢中含氢量较多的大型锻件
	去应力退火	加热至 Ac_1 –（100～200）℃，保温后缓冷	消除内应力	铸件、焊接件及锻轧件等
第二类退火	完全退火	加热至 Ac_3 +（30～50）℃，保温后缓冷	细化组织，降低硬度	中碳钢及中碳合金钢，铸、焊、锻、轧制件等，也可用于高速钢、高合金钢淬火返修前的工艺
	不完全退火	加热至 Ac_1 +（30～50）℃，保温后缓冷	细化组织，降低硬度	晶粒未粗化的锻轧件等
	等温退火	加热至 Ac_3 +（30～50）℃（亚共析钢）或 Ac_1 +（20～40）℃（共析钢和过共析钢），保温后等温冷却（稍低于 Ar_1 等温）	细化组织，降低硬度，得到更为均匀的组织和硬度	大型铸锻件及冲压件等（组织与硬度较为均匀）
	球化退火	加热至 Ac_1 +（10～20）℃或 Ac_1 –（20～30）℃，保温后等温冷却或缓冷	碳化物球状化，降低硬度，提高塑性	共析钢、过共析钢锻轧件，结构钢冷挤压件

4. 工件

标准中“工件”一章的内容，在编写时等效采用了 JIS B 6911 的相关要求，只是在工件的形状尺寸、加工余量的记录方面提出用简图表示和标注。

为了确保热处理质量，在接收待正火与退火件时，应按标准规定的项目进行验收，经验收合格后才可进行热处理。规定验收的项目如下所述：

（1）待正火与退火件的钢材成分应符合有关标准的规定。因为正火与退火的加热温度，加热速度、保温时间等工艺参数的确定均与钢的化学成分密切相关。如果某钢种的化学成分范围偏离了有关标准的规定，那么按标准钢种确定的工艺规范，势必不可能获得预期的、符合要求的处理结果。因此，为保证热处理质量，在正火与退火前，应对工件的化学成分进行验收。可以采用火花检验或其他检验方法。

在 JIS B 6911 中列入了正火与退火的钢号上百种，我们认为一般的钢材均可进行正火与退火，对具体钢号没有过严要求。故本标准只提出“材料的牌号和化学成分应符合有关标准的规定”，而未列入具体钢号。

（2）工件处理前的原始状况，即工件正火与退火前的冷热加工状态、原始组织，以及外观质量、尺寸大小、几何形状及几何精度等，均对热处理质量产生不同程度的影响。为此，在本标准 5.2 和 5.3 中对这些项目作了相应的规定。检验人员应根据这些项目进行验收，必要时应进行金相

检验、探伤检验及其他检验，以避免因工件的原始状况而造成热处理缺陷。

5. 正火与退火设备

热处理加热设备的温度均匀度是保证热处理件质量的重要条件，这是世界各国热处理生产中普遍重视的问题。例如，美国军用标准 MIL-H-6875B（现为 AMS-H-6875A）中对炉温均匀度规定为："加热设备的设计和结构应保证在工作状态下，其有效加热区的温度允差不超过 ±25°F（±15℃）"。同时，还规定了炉温均匀度的检测方法和检测周期。日本工业标准 JIS B 6911 中也提出了炉温均匀度要求，该标准根据不同的热处理工艺类型提出了不同的指标。日本金属热处理工业会还编制了相关标准 JHS C-1《热处理用加热设备有效加热区的试验》，作为 JIS 标准中设定有效加热区的基准参数。

在热处理生产中，加热炉的炉膛内各处的温度存在着很大的差异。以国内常用的主要靠辐射传热而设有强制循环系统的箱式炉为例，经检测，75kW 的箱式炉在放置热电偶垂直平面上下两点温差一般可达 30℃左右，若电热元件配置不当，温差可达 90℃。经调查表明，我国热处理生产中由于没有严格确定加热设备的有效加热区（对这个问题长期不够重视），使工件受热不均而导致组织性能的不一致，从而造成热处理缺陷的现象是很多的。为此，本标准 7.1 规定，工件装炉时必须放置在预先确定的有效加热区内。同时规定在加热设备正常装炉量的情况下，有效加热区内的温度偏差应按标准中表 4 所列的精度进行调节和控制。标准中表 4 所列的允许温度偏差，是在对国内有代表性的企业进行调研和征询意见的基础上，参照日本工业标准 JIS B 6911 中的有关规定，并进行了必要的试验验证工作而确定的。试验证明，加热温度的均匀性对正火及第二类退火，特别是球化退火的处理效果产生更大的影响。所以，标准中对正火及第二类退火，特别是球化退火有效加热区内的允许温度偏差要求更严。在此要说明的是，本标准是我国机械行业通用的热处理工艺标准，其技术指标的规定应具有一般性。所以，各企业应根据本单位的生产水平和现状，对标准中的技术指标加以提高，以增强其产品的竞争能力。目前，首要的工作是各企业应根据 GB/T 9452 标准的规定对本单位使用的加热设备进行检测，当有效加热区缩小到一定程度时应及时检修或报废，而且要建立定期检验制度，检测周期可参照标准 GB/T 9452。

关于温度测定及温度控制设备的精度，即检测器、传送器、显示器、调节器等所组成的一系列装置所表示出的温度总误差，国外有关标准中均有明确规定。例如，美国军用标准 MIL-H-6875B 中规定为不超过指示温度的 ±1.0%；日本工业标准 JIS B 6911 中规定：当指示温度低于 400℃时，允许误差不超过 ±4℃，当温度高于 400℃时，允许误差不超过指示温度的 ±1.0%。参照国外先进标准，结合我国实际情况，本标准采用了 JIS 标准的规定。经了解，在热处理生产中选用不低于 0.5 级精度的仪表，并配上相应的热电偶和补偿导线，是能够满足本标准中所规定的各种热处理工艺要求的。

6. 正火与退火方法

（1）标准中规定，待正火与退火件按规定项目验收合格后，应根据工件的具体要求确定适当的热处理工艺方法。工件装炉时，必须放置在预先确定的有效加热区内。装炉量、装炉方式及堆放形式的确定，应以保证工件均匀加热和冷却，且不造成有害变形和缺陷为原则。但在实际生产中，装炉量过大或超载及乱扔乱放的现象却很多见，这是造成工件热处理质量下降的原因之一，应当加以改进。

（2）工艺规范的选择。由于本标准是机械行业通用的工艺标准，所以没有对工艺路线、工艺参数等提出具体要求，而是对热处理工艺过程的控制做出了相应规定，以提供制定企标和工艺守则的依据。为有助于人们全面了解本标准内容，现对有关工艺参数的确定原则作一介绍。

1）加热温度。应当根据具体工件的热处理目的，同时考虑到工件的尺寸和形状、原始组织、

性能要求、加热设备等多种因素来决定，现将一般原则简介如下：

正火的最主要目的，对亚共析钢来说是要消除钢中大块的或网状的铁素体或带状组织（由夹杂引起的带状组织除外），以细化晶粒，改善切削加工性能或作为淬火前的预备热处理。对过共析钢来说是要消除钢中的网状碳化物，为球化退火作组织准备。所以，加热温度应分别在 Ac_3 和 Ac_{cm} 以上的适当温度，以实现完全奥氏体化。

完全退火主要应用于亚共析钢的铸、锻、焊、轧制件等，以消除其在热加工状态下出现的粗大组织及大块状铁素体等。所以，加热温度选择在 $Ac_3+(30\sim50)$℃，既可以细化晶粒，又有助于奥氏体成分的均匀化，以改善切削加工性能并为淬火作良好的组织准备。

球化退火主要应用于共析、过共析钢，使钢中的碳化物球状化，以降低硬度，改善组织，提高淬火钢的性能及减少淬火缺陷等。加热温度对钢中碳化物的球化效果有着很大的影响。例如，GCr15 轴承钢（Ac_1 约为 760℃）在 770℃加热进行球化退火后，将全部得到球状碳化物，当加热温度提高到 840℃以上球化退火后则全部形成层片状珠光体。又例如 T12 钢（Ac_1 约为 730℃）分别在 950℃或 760℃加热，保温后冷至 650℃等温球化，前者为粗片状珠光体，后者为球状碳化物。所以，球化退火加热温度不宜太高，一般控制在稍高于 Ac_1，如 $Ac_1+(10\sim20)$℃，可获得不均匀奥氏体和大量细小的残留碳化物，作为碳化物球化的非自发核心，以促进球化。对于某些结构钢的冷挤压件，为提高塑性，可在 Ac_1 稍下温度进行长时间球化退火。

不完全退火，即加热温度在 $Ac_1\sim Ac_3$ 之间，进行不完全奥氏体化，所以细化晶粒方面不如完全退火好。该工艺主要应用于某些晶粒仍较细小而均匀的亚共析钢锻轧件，使其软化以改善切削加工性能并消除内应力。

等温退火是完全退火、球化退火、不完全退火工艺的重要改进，即采用等温转变的冷却方式。由于组织转变在恒温过程中完成，因而组织与硬度较为均匀。等温退火的目的与完全退火、球化退火、不完全退火并无区别，因此，加热温度的选择应视具体钢件的处理目的参照完全退火、球化退火或不完全退火。

去应力退火是为了去除钢件内存在的残余应力，而无须发生显微组织的转变。所以，加热温度通常选择在 Ac_1 以下的适当温度，如钢铁材料一般在 500～650℃。消除钢件中内应力是在加热、保温和缓冷过程中完成的。

扩散退火温度在考虑到不致使奥氏体晶粒过于粗化的条件下应尽量提高温度，以利于化学成分的扩散均匀化。所以，加热温度通常选择在 $(0.8\sim0.9)T_{熔}$ 或 $Ac_3+(150\sim200)$℃。例如，碳钢一般选 1100～1200℃，合金钢可提高到 1050～1250℃。

再结晶退火的目的是使冷形变晶粒重新再结晶为均匀的等轴晶粒，以消除加工硬化和残余应力。若温度过高，接近相变临界点（Ac_1），则多边形晶粒将显著粗化。温度太低，则再结晶不充分。所以，加热温度通常选在比起始再结晶温度（T_2）高 100～250℃或低于 Ac_1 点的适当温度。例如，一般钢材的再结晶退火温度通常为 600～700℃。

表 2.1-4、表 2.1-5 列出了几种常用结构钢和工具钢的正火及退火加热温度范围，仅供参考。

表 2.1-4　几种常用结构钢完全退火与正火加热温度及硬度范围

牌　号	相变临界点/℃			退　火		正　火	
	Ac_1	Ac_3	Ar_1	加热温度/℃	硬度 HBW	加热温度/℃	硬度 HBW
15	735	863	685	—	—	900～950	≤143
20	735	855	680	880～900	111～149	890～920	≤156
35	724	802	680	850～880	126～197	860～900	146～197

（续）

牌　号	相变临界点/℃			退　火		正　火	
	Ac_1	Ac_3	Ar_1	加热温度/℃	硬度 HBW	加热温度/℃	硬度 HBW
40	724	790	680	840～880	137～207	850～890	≤217
45	724	780	682	800～870	137～207	840～880	170～217
50	725	760	690	800～870	156～217	820～870	≤241
60	727	766	690	770～810	156～217	800～850	≤255
65	727	752	696	810～860	≤229	820～860	≤255
20Cr	765	836	702	860～890	≤179	870～900	143～197
20CrMnTi	745	830	665	—	—	920～970	160～207
20CrMnMo	710	830	620	850～870	≤217	880～930	190～228
20MnVB	720	840	635	—	—	880～900	149～179
20Mn2B	730	853	613	—	—	880～900	131～179 *
35CrMo	755	800	695	830～850	≤229	850～880	241～285
40Cr	780	840	690	860～890	≤207	870～890	179～229
40MnB	730	780	650	820～890	≤207	860～920	197～207
40CrNi	735	768	660	820～850	≤241	840～870	≤250
40MnVB	740	786	645	850～880	≤207	860～890	159～207 *
40CrNiMoA	760	810		840～880	≤269	890～920	220～270
38CrMoAlA	760	885	675	900～930	≤229	930～970	179～229 *
42SiMn	740	800	645	850～870	≤207	890～920	179～229
45Mn2	711	765	626	810～840	≤217	820～860	187～241
50Mn2	710	760	596	810～840	≤229	820～860	192～241 *
50CrVA	752	788	688	810～870	≤255	850～880	≤302
60Si2Mn	755	810	700	840～860	185～255	850～870	≤302
65Mn	726	765	689	790～840	196～229	820～860	≤269

注：1. 带 * 者，正火后经高温回火。
2. 若正火作为最终热处理，应采用推荐下限温度。
3. 表中所列加热温度与硬度范围数据，录自于某些企标、地区标准、工艺守则等文件。

表 2.1-5　几种常用工具钢球化退火与正火加热温度及硬度范围

牌　号	相变临界点/℃			退　火			正　火	
	Ac_1	Ac_{cm} (Ac_3)	Ar_1	加热温度 /℃	等温温度 /℃	硬度 HBW	加热温度 /℃	硬度 HBW
T7（T7A）	730	770	700	750～770	640～670	≤187	800～820	—
T8（T8A）	730		700	740～760	650～680	≤187	760～780	241～302
T10（T10A）	730	800	700	750～770	680～700	163～197	810～850	255～321
T12（T12A）	730	820	700	750～770	680～700	163～207	850～870	269～341
9Mn2V	730	760	655	740～760	630～650	≤229	870～880	—
9SiCr	770	870	730	790～810	700～720	197～241	900～920	—
CrMn	740	(980)	700	770～810	680～700	197～241	900～920	—
CrWMn	750	940	710	780～800	690～710	207～255	970～990	388～514
GCr15	760	900	695	790～810	680～710	207～229	900～950	270～390

（续）

牌　　号	相变临界点/℃			退　　火			正　　火	
	Ac_1	Ac_{cm} (Ac_3)	Ar_1	加热温度/℃	等温温度/℃	硬度HBW	加热温度/℃	硬度HBW
GCr15SiMn	770	870	708	790～810	690～710	207～229	900～950	270～390
Cr12	810	(835)	755	850～870	720～750	269～217	—	—
Cr12MoV	830	(855)	750	850～870	720～750	207～255	—	—
W9Cr4V2	830	—	760	850～880	730～750	207～255	—	—
W18Cr4V	850	—	760	850～880	730～750	207～255	—	—
W6Mo5Cr4V2	865	—	772	870～890	740～750	≤255	—	—
5CrMnMo	710	760	650	850～870	～680	197～241	—	—
5CrNiMo	730	780	610	760～780	～610	197～241	—	—
3Cr2W8V	800	(850)	690	840～860	—	207～255	—	—

注：1. 表中所列加热温度及硬度范围摘自于某些厂标、地区标准、工艺守则等文件。
2. 括弧内数据仅供参考。

2）加热速度。加热速度主要与钢的成分、工件的尺寸和形状等因素有关。一般无须严格控制，但为防止变形开裂，控制加热速度还是必要的。碳素钢和低合金钢的中、小件的加热速度一般控制在100～200℃/h；中、高合金钢形状复杂的或截面大的工件一般应进行预热，或采用低温入炉随炉升温的加热方式，在温度低于600～700℃时加热速度控制在30～70℃/h，高于此温度时控制在80～100℃/h。

3）加热时间。加热时间主要与钢的成分、工件的尺寸与形状、加热温度、加热介质、加热方式、装炉量及热处理目的等因素有关。在实际生产中，常采用经验公式 $\tau = KaD$（min）估算加热时间。式中 K 为装炉系数（通常取1.0～1.5）；D 为工件有效厚度（mm）；a 为加热系数（min/mm）。据统计，a 的取值相差较大。例如，某碳素钢标准件不经预热在箱式炉中加热到800～900℃，有的工厂取 a 值为0.9～1.1，而有的工厂取 $a=1.4～1.8$，其数值几乎相差一倍。目前，有资料推荐按工件的几何因素为基准来计算加热时间，即采用公式 $\tau = KW$（min）。式中 K 为与加热条件有关的综合物理因素，$W=\frac{V}{F}$（mm）为与工件的尺寸和形状有关的几何因素（V 为工件的体积，F 为工件的表面积）。经数学整理和大量的试验验证修正，得出简化了的实用加热时间计算表（见表2.1-6）。

表2.1-6　*KW* 实用时间计算表

炉型	系数	工　件　形　状			
		柱　　状	板　　状	薄管 $\delta/D<\frac{1}{4}$ $L/D<20$	厚管 $\delta/D\geq\frac{1}{4}$
盐浴炉	K	0.7	0.7	0.7	1.0
	W	$(0.167～0.25)D$	$(0.167～0.5)B$	$(0.25～0.5)\delta$	$(0.25～0.5)\delta$
	KW	$(0.117～0.175)D$	$(0.117～0.35)B$	$(0.175～0.35)\delta$	$(0.25～0.5)\delta$
空气炉	K	3.5	4	4	5
	W	$(0.167～0.25)D$	$(0.167～0.5)B$	$(0.25～0.5)\delta$	$(0.25～0.5)\delta$
	KW	$(0.6～0.9)D$	$(0.6～2)B$	$(1～2)\delta$	$(1.25～2.5)\delta$

注：1. 表中 B—板厚，δ—壁厚，L—柱长，D—外径，包括非圆柱的内切圆直径。
2. 尺寸单位均为mm，时间为min。
3. 高速钢工件，盐浴炉加热 K 取0.5。

由于对加热时间的影响因素较为复杂，标准中尚不能做出具体规定，各企业应根据具体情况进行加热时间的估算，以保证待正火与退火件在规定的加热温度范围内保持必要的时间。

4）冷却速度。冷却速度对钢正火及退火后的组织与性能影响的一般规律是：冷却速度越大，奥氏体分解温度越低，则珠光体转变产物越细，应力越大，硬度越高。所以，为达到预期的处理效果，冷却速度应控制适当。

正火件一般为空冷，某些渗碳钢、过共析钢工件和铸件（防止碳化物呈网状析出），以及大件（考虑“质量效应”）等正火应采用风冷、喷雾冷却、甚至水冷等。

退火件一般采用随炉冷至低于550℃出炉空冷，对于要求内应力较小的工件应炉冷至低于350℃出炉空炉。

表2.1-7为各类钢材的退火冷却速度（供参考）。

表2.1-7 各类钢材的退火冷却速度

钢材类别	碳 钢	合金钢	高合金钢
冷却速度/（℃/h）	100～150	50～80	20～70

注：球化退火的冷却速度应为20～60℃/h。

（3）在本标准7.3条中要求对工件热处理过程中的作业方法及作业条件做必要的记录（相当于工件的加工履历），并随工件的热处理流程而传递。其目的是要确保本标准中做出的各项规定得以实现，同时，也便于分析产生质量事故的原因。至于记录的保存期限，可根据本单位的实际情况来确定。

7. 正火与退火后工件的质量

本标准这一章在硬度偏差值的选取上等同于JIS B 6911。这一数值比前一版标准要求严。一定要按标准严格操作，保证加热炉有效加热区的温度均匀性。这对于纠正野蛮作业的不良习惯，提高工件质量是有促进意义的。

本标准对质量检验规程、质量检验内容及要求、质量试验方法及试验设备等均做出了相应规定。

（1）关于质量检验内容及要求。衡量正火与退火件质量的检验项目一般是硬度、金相组织、表面质量（包括表面脱碳，一般要求脱碳层深度不应超过毛坯或零件单面加工余量的1/3或2/3）、力学性能、变形等。在实际生产中并非每项都要求考核，各单位可根据工件的实际需要选择项目进行质量控制。对必须做金相组织或力学性能检验的工件，应在合同及工艺文件中注明，并参照有关标准进行检验和考核。

1）硬度。硬度指标在很大程度上反映正火与退火件的热处理质量，而且硬度检测方便易行。所以，正火与退火件一般要进行硬度检验。当正火与退火作为工件的预备热处理时，若硬度不均匀（实际上组织也不均匀），势必会影响切削加工性能和最终的热处理质量。若作为最终热处理，将会影响工件的使用寿命。因此，对正火与退火件的质量控制，应提出硬度均匀性要求。本标准在搜集和分析国内先进企业大量数据的基础上，参照日本标准JIS B 6911，对几种常用的钢种进行了一定的工艺试验验证。本标准参照日本标准提出了相近的硬度指标（见本标准表5），这和我国的实际生产情况也基本相符。表2.1-3、表2.1-4列出了我国热处理生产中几种常用钢种经退火与正火后的硬度范围要求。

2）畸变。据了解，国内大多数企业对正火与退火件的畸变量都有一定的要求。例如，规定经退火与正火后工件的畸变量应小于其单面加工余量的1/3或1/2或2/3等，各工厂要求尚不统一。本标准在总结分析国内先进企业生产情况的基础上，对弯曲畸变量做出了规定。其原则是，畸变量

应控制在不妨碍以后的机械加工和使用的范围内。

（2）试验方法及试验设备。在进行无损检测、硬度、金相组织、畸变、力学性能等各项试验时，应参照有关技术标准的规定进行。目前尚无标准的，应根据有关双方的协议进行。（北京机电研究所邵周俊供稿）

三、标准内容（GB/T 16923—2008）

钢件的正火与退火

1　范围

本标准规定了在炉中加热的钢件正火与退火的技术要求及方法。

本标准不适用于表面加热的处理方法。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 224　钢的脱碳层深度测定方法

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 231.1—2002，eqv ISO 6506-1：1999）

GB/T 1182　产品几何技术规范（GPS）几何公差　形状、方向、位置和跳动公差标注（GB/T 1182—2008，ISO 1101：2004，IDT）

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 4341　金属肖氏硬度试验方法

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定方法

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

GB/T 19944　热处理生产燃料消耗计算和测定方法

JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度测试通则

JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气一般技术要求

JB/T 9210　真空热处理

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　畸变　distortion

工件在热处理时发生的形状和尺寸的变化。

4 正火与退火工艺分类、代号及应用范围

正火与退火的工艺分类及代号应符合 GB/T 12603 的规定，及其应用范围见表 1。

表 1 正火与退火的工艺分类、代号及应用范围

序号	工艺分类	工艺代号	应用范围
1	正火	512	用于低、中碳钢和低合金结构钢的铸、锻件消除应力和淬火前的预备热处理，也可用于某些低温化学热处理件的预处理及某些结构钢的最终热处理。消除网状碳化物，为球化退火作准备。细化组织，改善力学性能和切削加工性能
2	等温正火	512-I①	用于某些碳素钢和低合金钢工件在淬火返修或预备热处理时，消除应力和细化组织，以使重新淬火时能减少畸变和防止开裂。也可用于低合金钢件在渗碳、碳氮共渗前的预处理，以及某些结构件的最终热处理
3	二段正火	512-T①	用于对控制正火畸变要求较严格的工件
4	完全退火	511-F	用于中碳钢、中碳合金钢的铸、焊、锻、轧制件等。也可用于高速钢、高合金钢淬火返修前的退火，细化组织、降低硬度、改善切削加工性能、消除内应力
5	不完全退火	511-P	用于晶粒未粗化的中碳钢、高碳钢、低合金钢锻、轧制件等。降低硬度，改善切削加工性能，消除内应力
6	等温退火	511-I	用于中碳合金钢、某些高合金钢的大型铸、锻件及冲压件。其目的与完全退火相同，但能够得到更为均匀的组织和硬度
7	球化退火	511-Sp	用于共析钢、过共析钢的锻、轧件以及结构钢的冷挤压件，其目的在于降低硬度，改善组织，提高塑性和改善机械加工和热处理工艺性能等
8	去应力退火	511-St	消除中碳钢、中碳合金钢由于冷、热加工形成的残余应力
9	预防白点退火	511-Hy①	降低中碳钢、中碳合金钢和高碳合金钢中的含氢量，避免形成白点
10	均匀化退火	511-H	减少中碳合金钢、高合金钢铸、锻、轧件的化学成分和组织的偏析，达到均匀化
11	再结晶退火	511-R	使碳钢、低合金钢形变晶粒重新转变为均匀的等轴晶粒，以消除形变强化和残余应力
12	光亮退火	511-B①	用于碳钢、低合金钢的表面无氧化退火
13	稳定化退火	511-Sa①	用于耐蚀钢，防止耐晶间腐蚀性能的降低

① 此类工艺代号在 GB/T 12603 中未列，为本标准新增代号。

5 待处理工件

5.1 材料

材料的牌号和化学成分应符合有关标准的规定，并应符合第 8 章中对品质的要求。

5.2 加工状态

待处理工件的加工状态见表 2。

表 2 待处理工件的加工状态

序号	项　　目	备　　注
1	材料数据 牌号或化学成分 炼钢炉号① 硬度及其他力学性能① 金相组织①	

（续）

序号	项　　目	备　　注
2	处理前的加工制造方法① 铸造 锻造 轧制 挤压 冲压 拉拔 旋压 焊接 气割 机械加工	 注明铸造工艺，必要时应注明金相组织 注明冷锻、热锻，必要时应注明锻造比 注明冷轧、热轧 注明冷挤压、热挤压 注明冷、热冲压 注明冷、热拉拔 注明冷、热旋压 注明焊接部位 注明气割部位 注明机械加工方法
3	处理前的热处理状态 正火 退火 淬火、回火 化学热处理	 注明退火工艺类型 用于返修件，注明原工艺 注明化学热处理工艺类型
4	矫正及其程度①	注明冷矫正或热矫正

①　在不妨碍处理的情况下可部分或全部省略。

5.3　外观、质量、形状、尺寸、精度

待处理工件的外观、质量、形状、尺寸及精度见表3。

表3　待处理工件的外观、质量、形状、尺寸及精度

序号	项　　目	备　　注
1	外观	裂纹、划痕、锈蚀、黑皮等
2	质量①	以kg作为计量单位
3	形状① 特异形状 厚度差异 孔的形状及位置	以简图表示
4	尺寸和精度① 尺寸 整体加工偏差 尺寸精度 形状公差② 定向公差② 定位公差②	以简图表示 直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度及面轮廓度 平行度、垂直度、倾斜度 位置度、同轴度、同心度及对称度

①　在不妨碍处理的情况下可部分或全部省略。

②　各几何公差的定义依据GB/T 1182。

5.4　验收

合同双方按5.1、5.2和5.3中商定的必验项目验收待处理工件，必要时可按有关标准检验，

并保存验收记录。

6　正火与退火设备

6.1　加热炉

6.1.1　按 GB/T 9452 的规定定期对加热炉的有效加热区进行测定。加热炉有效加热区内温度偏差值应符合表 4 的要求。

表 4　加热炉有效加热区的温度偏差

工 艺 类 型	允许温度偏差/°C	工 艺 类 型	允许温度偏差/°C
等温正火	±10	光亮退火	±15
球化退火		去应力退火	
等温退火		均匀化退火	±20
正火	±15	预防白点退火	
二段正火		再结晶退火	
完全退火		稳定化退火	
不完全退火			

6.1.2　燃料炉的火焰不应直接冲刷工件，并不得对工件产生不良影响。

6.1.3　保护气氛加热炉使用的氩气、氮气、氢气应符合 JB/T 7530 的要求。

6.1.4　可控气氛炉的炉气成分应根据热处理工艺要求进行调节和控制。

6.1.5　热浴加热炉的加热介质不得对工件有腐蚀及其他有害影响。

6.1.6　真空炉的技术要求应符合 JB/T 9210 的规定。

6.1.7　流态粒子炉悬浮粉粒的种类和粒度以及气流的流速和流量应能调整。

6.1.8　连续式炉输送速度应能调整。

6.1.9　随炉冷却过程中应尽量使工件各部分冷却均匀。对重要件要求能调节冷却速度。

6.2　温度测定及温度控制装置

6.2.1　加热炉的每个加热区应配有温度测量及自动控制记录装置，并设有超温报警装置。

6.2.2　热电偶型测温装置显示仪表所示温度的系统误差在温度低于 400℃时不应超过 ±4℃，在温度高于 400℃时不应超过设定温度的 ±1%。

6.3　设备的维护保养

应制定适当的设备操作规程和维护保养制度，并妥善保管有关记录。

7　正火与退火工艺

7.1　工艺的制定与实施

应根据待处理工件的特征（材料、处理前的状态及形状、尺寸等）、批量、热处理目的、热处理设备和品质要求等条件来制定合理的热处理工艺。正火与退火工艺规范见附录 A。

7.1.1　装炉

工件应放置在符合表 4 规定的有效加热区内。装炉量、装炉方式及堆放形式均应确保加热、冷却均匀一致，且不致造成开裂、畸变和其他缺陷。使用夹具时，应提前检查其完好性。

7.1.2　加热

应正确选择加热规范，必要时可适当控制升温速度或实施适当的预热。应保证工件在规定的加热温度范围内保持足够的时间。使用可控气氛炉或热浴槽时，要调整加热前及加热过程中介质的成分，不致引起工件脱碳、渗碳或腐蚀。

7.1.3　冷却

应确保工件在规定的温度范围内以适当的速度冷却，并使工件各部分均匀冷却。

7.2　后续辅助工序

7.2.1　工件矫正所产生的残余应力如对后续机械加工和使用性能有较大影响，应进行去应力退火处理。

7.2.2　清除氧化皮时，不能使工件表面受到损害。

7.2.3　根据需要有些材料经正火后应及时回火。

7.3　工艺的记录

应记录工艺实施的条件和过程，包括记录温度、时间等工艺参数，并保存记录，必要时应得到合同方的确认。

8　正火与退火后工件的品质检验

8.1　检验内容及要求

8.1.1　外观

表面应无裂纹及伤痕。采用无氧化加热时，表面应无氧化皮。

8.1.2　表面硬度

表面硬度应达到技术文件规定的要求。按合同双方协商确定的工件品质等级，表面硬度偏差范围不应超出表5的规定。

表5　表面硬度偏差的允许值

工艺品质等级	单　件				同　批			
	HB	HV	HRB	HS	HB	HV	HRB	HS
1	20	20	5	3	25	25	6	4
2	25	25	6	4	35	35	7	5
3	30	30	7	5	45	45	9	6
4	40	40	8	6	55	55	11	7

注：1. HB、HV、HRB及HS等数值是使用不同硬度试验机的实测值，表中各种硬度值之间没有直接换算关系。

2. “同批”系指采用同炉号材料，用周期式炉同一炉次处理的一批工件；用连续炉在同一工艺条件下同作业班次处理的一批工件。

3. 硬度测量部位应在工件上处理条件大致相同的范围内选取。

8.1.3　金相组织

应达到合同双方协商确定的金相组织要求。

8.1.4　畸变

工件的畸变应不影响其后的机械加工及使用。畸变量允许范围由合同双方协商确定。

8.2　品质检验用仪器和量具

所使用的各种仪器和量具应有计量部门颁发的合格证，并在有效期内使用。

8.3　品质检验方法

8.3.1　外观

可采用目测或着色法鉴定裂纹及伤痕。必要时按有关标准进行超声波或磁粉检测。

8.3.2　表面硬度

表面硬度按GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341和JB/T 6050检验。

8.3.3　金相组织

金相组织检验方法应符合 GB/T 13298 的规定，晶粒度的检测应符合 GB/T 6394 的规定，表面脱碳层的检测应符合 GB/T 224 的规定，其他金相组织按有关标准评定。

8.3.4 畸变

可使用相应的仪器和量具测量。

9 安全卫生要求

正火与退火过程的安全卫生要求应符合 GB 15735 的有关规定。

10 能源消耗要求

正火与退火工艺的能源消耗定额应符合 GB/T 17358 和 GB/T 19944 的有关规定

11 产品报告单

根据要求可按每批或每炉开具报告单。报告单应包括下列内容：

a）批号或炉号；

b）工艺类型或工艺代号；

c）工件的数量及质量；

d）操作者姓名或代号；

e）品质检验结果；

f）检测或评判依据；

g）品质检验员姓名或代号；

h）加工单位名称；

i）报告日期：年、月、日。

附 录 A

（资料性附录）

钢件正火与退火工艺规范的选择

A.1 加热温度

应根据工件的钢号、热处理目的等因素确定。常用加热温度的一般选用原则如下：

正火：Ac_3（或 Ac_{cm}）+（30 ~ 80）℃；

等温正火：Ac_3（或 Ac_{cm}）+（30 ~ 50）℃；

完全退火：Ac_3 +（30 ~ 50）℃；

不完全退火：Ac_1 +（30 ~ 50）℃；

等温退火：Ac_3 +（30 ~ 50）℃（亚共析钢）；

Ac_1 +（20 ~ 40）℃（共析钢和过共析钢）；

球化退火：Ac_1 +（10 ~ 20）℃；

去应力退火：Ac_1 −（100 ~ 200）℃；

均匀化退火：Ac_3 +（150 ~ 200）℃；

再结晶退火：Ac_1 −（50 ~ 150）℃。

A.2 加热速度

根据工件的成分、尺寸和形状及堆放形式、装炉量等因素来确定，对高碳高合金钢及形状复杂的或截面大的工件一般应进行预热，或采用低温入炉后控制升温速度的加热方式。中、小件可在工作温度装炉加热。

A.3 加热时间

加热时间应根据工件的化学成分、形状和尺寸、加热温度、加热介质、加热方式、装炉量和堆

放形式以及处理目的等因素确定，应保证工件在规定的加热温度范围内保持足够的时间。

A.4　冷却速度

根据所需的组织和力学性能选择适当的冷却工艺。

正火件一般在自然流通的空气中冷却。对于有特殊要求的某些渗碳钢、过共析钢工件和铸件，以及大件正火也可以采用强制风冷或喷雾冷却，但应控制冷却速度。

退火件一般随炉冷却到小于550℃出炉空冷。对于要求内应力较小的工件应炉冷到小于350℃再出炉空冷。

第二节　钢件的淬火与回火

一、概论

1. 立项原则

本标准覆盖的热处理对象是量大面广的钢件（或钢材），包括碳素结构钢及合金结构钢、碳素工具钢及合金工具钢、高速钢、部分不锈钢、耐热钢和铸铁等。以及它们的型材、铸锻件和加工成形零件。由于铸铁的淬火、回火有特殊性，所以标准中没有列入铸铁材料。此外，本标准涉及的是钢在加热炉中透烧后在水、油、空气或热浴中进行的淬火，以及在炉中加热的回火处理。不包括感应加热、火焰加热、电阻加热等热处理方法。

本标准首次制订于1985年，当时的标准编号及名称为JB/T 3877—1985《钢的淬火与回火处理》，它是最早一批制订的热处理标准。后来，热处理及相关学科技术已有很大发展，当时是参照JIS B 6913：1982。1989年JIS B 6913再次修订，考虑到淬火与回火是热处理的主要工艺方法之一，应用量大面广，而不仅仅局限于机械部系统，所以1994年由全国热处理标委会提出，经当时的国家技术监督局批准列入1995年国家标准制修订计划，由北京机电研究所起草，1997年7月25日正式发布，标准编号及名称为：GB/T 16924—1997《钢的淬火与回火》。本次修订完成于2008年。

采用国际标准和国外先进标准已是我国的国策，进一步推进与国际惯例接轨是标准化工作的方向。本着这一原则，在这次修订本标准时，修改采用了JISB 6913：1999，同时对国内汽车、机床、轴承、重型机械、工模具等行业的热处理现状进行了调研和征询意见，并进行了必要的试验验证工作，以力求使本标准达到国外先进标准的水平。

2. 修改内容说明

（1）本标准与JIS B 6913：1999标准的技术差异

1）按我国的热处理状况重新规范了“引用文件”。JIS B 6913：1999给出82项引用标准，本标准中只列了与本标准有关的30项引用标准（其中，国家标准27项，机械行业标准3项）。

2）术语原则上采用了国家标准。JIS B 6913：1999给出的术语基本上都涵盖在是GB/T 13324《热处理设备术语》中，而气冷淬火、畸变已涵盖在GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》及GB/T 16923《钢件的正火与退火》中。因此，本标准只给出了有机水溶液淬火、流态床淬火的术语和定义。

3）调整了工艺分类及代号。按GB/T 12603《金属热处理工艺分类及代号》要求，重新调整了淬火与回火工艺名称及代号（见标准中表1）。

4）工件的材料未列出具体牌号。在JIS B 6913：1999中，十分详细地给出了涵盖于57个标准中的5大类（棒材、型钢、钢板、钢带；钢管；碳素钢、合金钢；特殊用途钢；铸锻用品）330个钢种。本标准此次修订只列出了采用我国11项材料标准编号，未列出具体的钢种。着重要求对用

于制造工件所用材料的化学成分应符合相关标准的规定便可（见标准中5.1）。

5）对工件处理前的热处理状态的记录进行了调整。

①调整了“工件处理前的记录”。将工件处理前的制造方法细化，分为“毛坯的制造方法”及“处理前的加工方法”（见标准中表2）。

②调整了“工件处理前的热处理状态”。JIS B 6913：1999对淬火前热处理状态按“正火、退火、渗碳”来记录，而本标准增加了“淬火回火（调质）”，同时还将“退火”细化为：完全退火、球化退火、去应力退火。将“渗碳”扩大为：化学热处理（见标准中表2）。

6）增加了对“工件后序加工方法”要求的记录（见标准中表3）。

7）保留了原GB/T 16924—1997的“工件的分类”。在JIS B 6913：1982标准中规定按淬火回火件的用途可分为特殊件、重要件及一般重要件三类；按所用钢材的淬透性可分为好、中、差三类；按淬火回火件的加工状态可分为毛坯、半成品三类。而在JIS B 6913：1989标准中则把工件所用标准的淬透性及工件大小统一起来进行分类。工件的品质则是以要求的硬度精度来进行原则性的划分（未标出具体的硬度精度值），因此是一个相对划分原则。我们认为这种统一的分类较为科学，所以保留了JIS B 6913：1989标准中的“工件的分类”。有了“工件的分类”的铺垫，使得标准中表8～表11内容更为一目了然。为了与本标准的9.1.2相协调，故在表4“类别”栏中增加了“5”。

8）在“淬火与回火加热设备”部分中做了相应的调整，保留了加热炉有效加热区的温度偏差范围。由于热处理设备设计的科学、合理，按淬火工艺要求，给出了加热炉有效加热区的温度偏差范围（见标准中表5）。按回火工艺要求，给出了加热炉有效加热区的温度偏差范围（见标准中表7）。标准中表5及表7的给出，导致各种加热炉的有效加热区的温度偏差范围更加严谨。

9）增加了“待处理件的验收”。热处理是机械加工过程中的一个特殊工序，工件的品质优与劣直接取决于工件的内在品质。本标准中进一步明确要按照工件的材料、处理前状态、外观、质量、形状、尺寸及精度验收待处理件（见标准中8.1）。

10）增加了资料性附录“钢件的淬火与回火工艺规范的选择”。由于本标准是通用的工艺标准，所以没有对工艺路线、工艺参数提出具体要求，而是对热处理工艺过程的控制做了相应规定，目的是为企业制定企业标准和工艺守则给出依据（见标准中附件A）。

11）增加了“品质检验用仪器和量具”。目的是着重强调所使用的各种品质检验用仪器和量具应具备有关部门颁发的合格证，并在有效期内使用。这是保证产品内在品质的一个重要环节（见标准中9.2）。

12）增加了“安全卫生要求”。生产过程的安全问题直接关系到生产者的人身安全、健康，厂房、设备和各种物料的安全。从提高职工的安全生产意识（能预防生产过程中产生的危险和有害因素；能处置危险和有害物，并能降低到其周围规定的界限内；能从作业区排除危险和有害因素；能预防生产装置失灵或失误时产生的危险和有害因素；发生意外事故时，能为遇险人员提供自救条件）入手，严格执行GB 15735。

其他的技术内容基本与JIS B 6913：1999一致。

（2）本标准与GB/T 16924—1997的技术差异

1）按GB/T 1.1《标准化工作导则　第1部分：标准的结构和编写》，对相关内容进行了编辑性修改：

①封面：增加或调整了相关要素（代替标准、采标程度、标准发布机构）。

②目次：列出了完整的标题。

③前言：更加详细地给出了本标准与JIS B 6913：1999及GB/T 16924—1997内容的差异、相关要素的更改。

2）根据钢件的淬火与回火要求，对某些技术内容进行了调整：

①明确了本标准不适用于感应淬火、火焰淬火、电阻加热的热处理方法。

②增加了规范性引用文件的“引导语”、核对了引用文件的标准名称、增加了标准的注明了引用文件与国际标准的一致性程度等。

③凡 GB/T 7232、GB/T 13324 及 GB/T 16923 确立的术语和定义，本标准不再列出。

④按 GB/T 12603 要求，将“淬火与回火的工艺分类代号”进行了修改。

⑤待淬火与回火件的材料成分应符合相关标准的规定。如果某种钢种的化学成分范围偏高了有关标准的规定，那么按标准钢种确定的工艺规范不可能获得预期要求的处理结果。为了保证热处理品质，在淬火与回火前，应对钢材的化学成分进行分析确认，并对其相关资料进行保存。在 GB/T 16924-1997 中，以附录的形式，十分详细地给出了涵盖于 11 个材料标准中的 212 个钢种。本次修订只要求对用于制造工件所用材料的化学成分应符合相关标准的规定便可，删去了“附录 A（标准的附录）淬火与回火常用材料的牌号”。

⑥参照 JIS B 6913：1999 增加了对工件质量、精度的要求等。参照 JIS B 6913：1999 及 GB/T 1182对标准中表 3 的内容进行了调整。

⑦为了与标准中表 8 ~ 表 11 的工件种类相对应，调整了“工件的分类”，增加了第 5 类（见标准中表 4）。

⑧根据热处理生产设备水平的不断提高及生产者操作水平的规范、严谨，调整了淬火与回火加热炉有效加热区的温度偏差，使各种加热炉的有效加热区的温度偏差范围较前版更加严谨（见标准中表 5、表 7）。

⑨增加了对“流态粒子炉”的有关要求。

⑩水淬时，因为水及水溶液的冷却能力对使用温度变化十分敏感，所以当水温超过 30°C，在 550 ~ 650°C 范围内的冷却速度将剧烈降低。油的冷却能力对使用温度变化不十分敏感，但油温过高或过低也将使其冷却速度降低。对于热浴淬火（等温淬火和分级淬火），由于实际使用温度较宽，为了更有效地保证工件等温淬火和分级淬火得到的组织和性能，所以本标准等同 JIS B 6913：1999，重新严格地调整了以上冷却设备的冷却介质使用的温度范围（见标准中表 6）。

⑪等同于 JIS B 6911：1999，调整了“工艺类别”。在标准中表 8 ~ 表 10“工件类别”中增加了 1 级（5 级），用“2，3，4，5”分别对应了“1，2，3，4”，重新给出了 1 级工件的硬度值，后面的硬度偏差不变，使其更为严格。在标准中表 11 中用“2，3，4，5”分别对应了“1，2，3，4”，后面的硬度偏差不变，省略了 1 级，使其更为严格。

⑫为了使术语更加规范，逐步以科学的称谓代替习惯的用法，所以在本标准中凡涉及“质量”的均改为“品质”，凡涉及“重量”的均改为“质量”。

二、标准应用说明

1. 范围

标准中第 1 章“范围”指出主要适用于钢制工件的淬火与回火，不包括铸铁件，也不包括用感应加热、火焰加热、电阻加热等的淬火与回火。

2. 定义

标准中第 3 章采用 GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》的定义外，新增了 GB/T 13324、GB/T 16923 等制订的术语和定义也适用于本标准。

标准中第 4 章淬火与回火工艺分类及代号是根据有利于工艺设计的制订与管理，将 GB/T 12603《金属热处理工艺分类及代号》的规定列入本标准。

3. 工件

按相关标准规定，列出了工件常用的几十种钢号供参考。但不包括全部工件常用材料，使用者可根据材料的淬透性曲线及在不同淬火冷却介质中的临界直径（D_0）值参照本标准划分其级别。

工件处理前状态、外观、形状及尺寸等同采用了 JIS B 6913：1999。只是增加了工件的形状及尺寸精度等应用简图表示和标注的内容。

（1）材料。在接收待淬火与回火件时，应按以下要求进行验收，验收后才可进行处理。

待淬火与回火件的钢材成分应符合相关标准的规定。如果某种钢种的化学成分范围偏离了有关标准的规定，那么按标准钢种确定的工艺规范不可能获得预期要求的处理结果。为了保证热处理质量，在淬火与回火前，应对钢材的化学成分进行分析与确认，对其相关资料进行保存。

（2）工件处理前的状态。对与冶金质量有关的成分、炉号、力学性能数据，甚至淬透性及金相组织状态，进入热处理工序前的冷热加工（供货）状态，加工方式及预备热处理类型都要按标准中表 2 的规定加以注明。

首先，从生产技术管理的角度看，这是全面质量管理的需要。经验证明，在热处理生产中出现的废品，在相当程度上和原材料及相邻加工工序有关。上海材料所曾做过一个统计，在 100 例模具早期失效的分析中，其中由于原材料不合格导致的废品约占 30%，热处理前的热加工不合格诱发热处理缺陷的占 8%，两项合计约占 40%。

其次，从技术上看，由于热处理是中间工序，所以在原材料及热加工形成的内在缺陷（均属“弱化因素”），均可能在热处理过程中扩大导致产生废品。

1）关于试验数据。对于重要件及特殊重要件规定要注明化学成分，炼钢炉号，拉伸、硬度试验数据，淬透性试验数据及金相组织试验数据。

化学成分波动会导致淬透性在较大范围内变化，如中碳钢中 Si、Mn 的上下限波动可以使淬透性波动 50% ~100%，当 Mn 含量在上限时将增加中碳钢淬火开裂的倾向，因此对于特殊重要件应对化学成分从严控制。

熔炼及脱氧方式对钢材的质量有重要影响，图 2.2-1 为 3CrW9V4 模具钢及 W6Mo5Cr4V2 高速钢采用不同的原材料（海绵铁或铁屑）冶炼后力学性能的变化。可以看出同一牌号的力学性能却有明显区别。

图 2.2-2 为冶炼方法对两种工具钢力学性能的影响，可以看出真空冶炼后具有更高的缺口抗拉强度，与转炉冶炼比较，W18Cr4V 高速钢电渣重熔后冲击吸收能量明显提高。

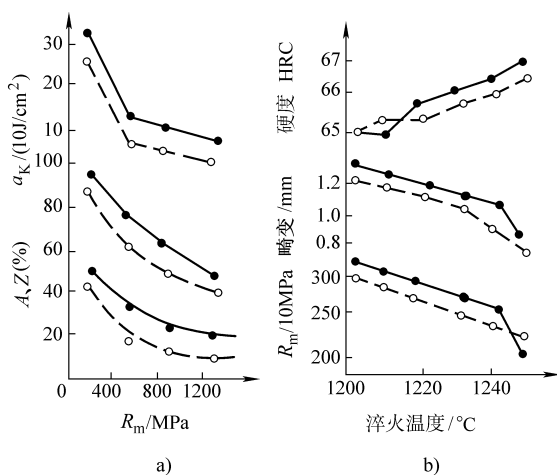


图 2.2-1 原材料对两种合金钢力学性能影响

a）3CrW9V4 b）W6Mo5Cr4V2

钢在冶炼时脱氧工艺对以后钢的性能也有显著影响，Rees 等研究表明，铁中氧的存在改变了冲击试验的脆性转化温度，当 w(O) 由 0.001% 升高到 0.057% 时，脆性转化温度由 0℃升高到 300℃。同时含氧量升高也将对高碳钢或钢渗碳时诱发内氧化的组织缺陷。

在高强度钢中，Al、N 的增多易形成晶粒异常长大及脆化，高温溶解的 AlN 在 900 ~1100℃保温过程中重新在奥氏体晶界析出，在 1100℃时 AlN 析出最显著，并随保温时间延长析出量增多，从而导致塑性与韧性的降低。

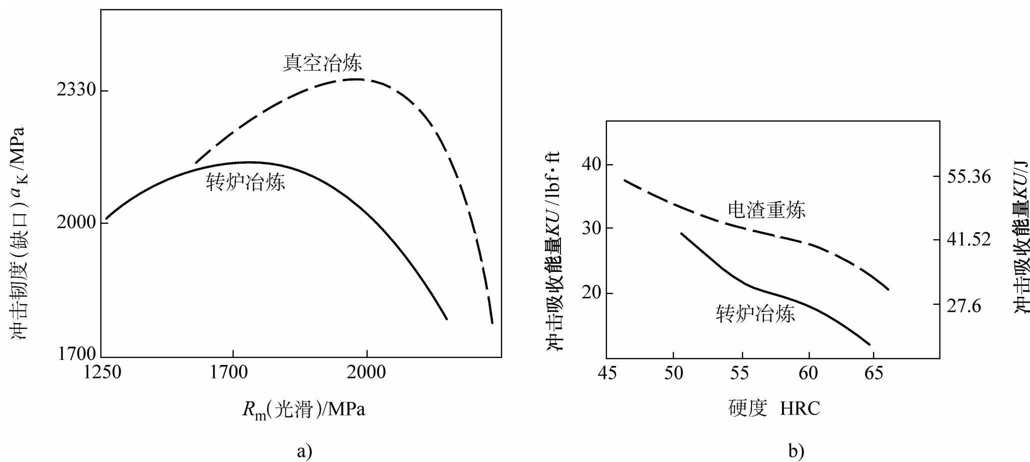


图 2.2-2　冶炼方式对两种钢力学性能影响

a）冶炼方法对 0.35% C-1% Si-5% Cr-1.5% Mo-0.4V 缺口抗拉强度影响

b）冶炼方式对 W18Cr4V 高速钢冲击性能影响

钢中微量元素对钢中的性能有非常重要的影响，对于高强度钢的影响尤为突出，有害的微量元素主要是 S、P、Sb、Sh、As 等。它们极易在晶界偏聚而导致脆化。图 2.2-3 为 S、P 含量升高使冲击吸收能量下降的例子，图 2.2-4 表明在 Ni-Cr-Mo 钢中添加 P、Sb、N 等微量元素，使冲击吸收能量下降。

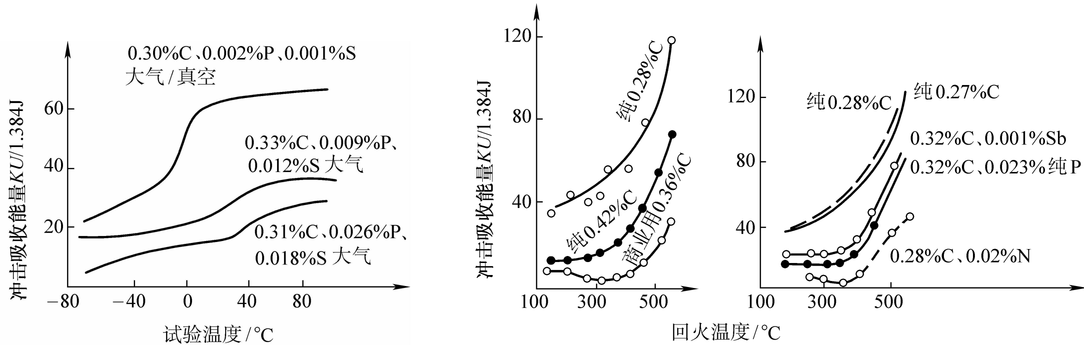


图 2.2-3　S、P 含量对脆性转化温度的影响

注：图中含量值为质量分数。

图 2.2-4　杂质元素对 1.5% Ni-Cr-Mo 钢回火脆性影响

注：图中含量值为质量分数。

在高碳钢及工具钢中，过大的碳化物偏析还将导致在淬火后发生不均匀畸变和淬火裂纹。同时又使淬火后沿偏析方向的韧性大幅度下降。

钢中硼、铬等合金元素的不均匀分布还将产生混晶，且不易消除。

2）关于供货与加工状态。在淬火回火前的热加工工序可能是铸造、锻造、热轧、热挤压或冷拔。在这些加工工艺过程中，钢件的组织结构将发生明显变化，这些变化可大致分为两类：

强化因素：如改变或调整加工制度可以使晶粒细化、碳化物均匀分布，或形变强化等。

弱化因素：如过热、表面脱碳、残余应力高、形变小于临界变形度所导致的再结晶退火后晶粒异常长大、焊缝缺陷等。对这些在热加工过程中易形成的缺陷如果不严格控制，将成为造成热处理废品的潜在威胁。

此外，在标准表 2 中对淬火前加工方式也做了初步的说明。进刀量大的重切削等各种切削加工的方式，都有可能诱发淬火裂纹。此外，经过人工冷热校直的细长或扁平工件，而未经消除应力处理也会使热处理后的变形超差。

（3）关于预备热处理类型。在热处理前注明这一项，是由于预备热处理状态不仅影响切削加工性能，也直接关系到热处理后的组织与性能。预备热处理的工艺类型由工件的加工工艺流程的特点来决定，也要考虑热处理淬回火的技术要求。

（4）待淬火回火件的外观形状及尺寸

1）外观。应无裂纹、锈斑和氧化皮。工件有裂纹，淬火后裂纹要扩展。工件上残存的锈斑和氧化皮，淬火后将导致硬度不均匀。这些外观上的缺陷均应在淬火回火前消除。

2）形状尺寸。淬火回火件的形状结构直接影响到淬火回火的质量。工件加热淬火伴随着温度的急变与组织转变的过程，必然要产生热应力与组织应力。当工件形状复杂、截面变化悬殊时，由于各部位的应力状态相差很大，加剧工件的变形以至开裂。正确的淬火回火工艺的选择及严格的操作可以减少变形，防止开裂。但从工件的设计、选材及整个加工工艺的制定，采取以下措施更为有效。

①设计时，尽量减小截面尺寸的差异。截面变化应平滑过渡，形状尽可能对称。

②选材时，对于形状复杂，要求变形小的工件，应选择淬透性较好的合金钢。这样在淬火时，可在缓和的淬火冷却介质中冷却，以减小淬火应力。

③应合理安排加工工艺路线，给热处理畸变留出适当的加工余量，非设计上要求的尖角都倒钝，适当的增加工艺孔等，都可以减少畸变，防止开裂。

本标准 5.3 节中，对于重要件及特殊重要件强调注明特殊形状部位、截面悬殊部位及孔的形状位置，这是因为这些部位可能是导致畸变或开裂的危险部位。带内孔轴类零件及工模具淬火时，易产生以孔的内壁为起点的放射状径向裂纹。这是由于内孔壁冷速较慢，热应力作用小，而使在淬透状态下内孔表面呈拉应力状态。此时应采取措施，加速内孔冷却或牺牲内孔的硬度以防止淬裂。

在大型锻件淬火后，由于不可能全部淬透，在工件棱角、截面突变或有尖角、凹槽的地方，易发生弧形裂纹。避免或减少这些缺陷的方法包括通过改进设计，适当降低淬火加热温度，并尽量采用较缓慢的淬火冷却介质，尽量采用自热回火的方法降低局部淬火应力。

特别应指出的是钢材质量差以及生产厂对原料管理不严，或热处理车间在接收待淬火件时，没有健全的验收制度，都是造成热处理质量不高的因素。因此，本标准对这些项目做出了相应的规定。这对加强热处理过程控制的管理是十分有用的，热处理车间检查人员应根据这些项目进行验收。必要时进行火花检验、无损检测及其他检验，以避免错料、混料、钢材缺陷以及在淬火前道工序所引起的裂纹或碰伤等。这些缺陷都可能降低淬火回火件的质量，甚至报废。

4. 工件的分类

本标准中这一章的内容较原标准变动较大。在原标准中规定按淬火回火件的用途可分为特殊件、重要件及一般重要件三类；按所用钢材的淬透性可分为好、中、差三类；按淬火回火件的加工状态可分为毛坯、半成品、成品三类。而在 JIS B 6913：1989 中则把工件的用途所用材料的淬透性及工件的大小统一起来进行分类。工件的质量则是以要求的硬度精度来进行原则性的划分（未标出具体的硬度精度值），因此是一个相对性划分原则。我们认为这种统一的分类较为科学，所以等同采用了此分类方法。

5. 淬火与回火设备

（1）保证热处理件组织和性能的均匀性，首先要求热处理加热炉的温度均匀度，这是世界各国热处理生产中普遍重视的问题。因此，国外热处理厂或车间定期检查加热设备的重要项目之一是有

效加热区，当此区缩小到一定程度时炉子就要检修或报废。

然而，在我国热处理生产中，对这样一个直接影响热处理质量的问题却长期重视不够，不少工厂对于箱式炉加热，只规定离炉门一定距离内不能放工件，对于盐浴炉加热，仅规定工件在浴面下一定深度。这种规定显然是不够严格的。实际调查证明，由于炉膛内温度的不均匀造成废品的现象是很多的。因此，我国也制定了 GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》我们在标准中规定工件装炉应放置在有效加热区内加热和保温。

本标准中淬火加热炉有效加热区的温度偏差值应按 GB/T 9452 规定定期进行测定，其中 1～2 类工件为 ±10℃，3、4、5 类工件为 ±15℃；回火加热炉有效加热区的温度偏差值也按 GB/T 9452 执行，其中 1、2 类工件为 ±10℃，3、4、5 类工件为 ±15℃。

（2）燃料炉的火焰不能与工件直接接触。

（3）热浴槽中的热浴，对工件不能有腐蚀及其他有害作用。当采用盐浴炉加热时，应按盐浴脱氧制度对盐浴进行充分脱氧。

（4）保护气氛加热炉使用的氩气、氮气和氢气应符合 JB/T 7530 中表 1 的要求。这些气体在热处理中的一般用途及不适用范围见 JB/T 7530 中表 2。

（5）可控气氛的炉气成分应根据热处理工艺要求进行调节和控制。

（6）按 JB/T 9210《真空热处理》的规定，真空淬火炉的有效加热区温度偏差一般不得超过 ±5℃，温度应能调节、自动控制和跟踪记录。

（7）连续炉应能调节输送速度。

（8）关于热电温度测定设备（即由检测器、显示器、调节器等所组成的装置），考虑到我国热工仪表的生产，使用情况及经济性，标准中规定设定温度低于 400℃时，热电偶型测温系统温度指示综合误差不得超过 ±4℃，高于 400℃时，不得超过设定温度的 ±1%。

（9）JIS B 6913 对水、油及热浴均规定了温度控制范围，而 MIL-H-6875 B 中对冷却介质则规定了使用温度范围。规定水淬时，水温不得超过 38℃，油淬时油温应控制在 20～60℃之间。

根据实际调查和现场测试的情况，并在对有关资料进行总结分析和研究的基础上，对淬火冷却介质的使用温度及其适用范围做出了相应的规定（详见本标准表 6）。国内外生产实践证明，水及水溶液的冷却能力对温度变化颇为敏感。例如，当水温超过 30℃，在 550～650℃范围的冷速将剧烈降低。因此，在本标准中对水及水溶液的使用温度范围作了严格规定。油的冷却能力对其使用温度虽然不十分敏感，但是油温过高或过低也将使其冷速降低。所以，本标准中也规定了普通淬火油的使用温度范围为 ±20℃、±30℃。对于热浴淬火，即等温淬火和分级淬火所使用的热浴，由于实际使用温度范围很宽，为了更有效地保证工件分级淬火或等温淬火得到所要求的组织和性能，本标准规定了在其工作温度下允许的偏差范围。对分级淬火规定为预定温度 ±20℃，对等温淬火规定为预定温度 ±10℃。各工厂可根据热处理件的工艺性能来选用适当的淬火冷却介质。

6. 淬火与回火方法

本标准这一章的内容是对淬火、回火工艺规范的选择，考虑到标准中的各项指标既能对企业在制定企标及热处理工艺时起到指导作用，又不至于统得过死，沿用了新一版的内容，而没有采用 JIS B 6913 的方法。

本标准中没有对工艺路线、工艺参数等提出具体要求，而是对热处理工艺过程的控制做出了相应规定，带有作业标准的性质，其目的是要保证热处理工艺能够正确顺利地进行。

关于淬火回火工艺规范，标准中也仅是从加热温度、加热速度、加热时间、冷却速度及冷却方式等几个方面做出了原则性的规定。可作为制定企业标准和工艺规范的依据。

标准 8.7 条中要求在工件的热处理过程中，对其作业方法及作业条件作必要的记录，并随工件

的流动而传递，其目的是要确保本标准的各项规定得以实现。同时，也要利于加强各工序间的岗位责任制，便于分析产生质量事故的原因。至于记录的保存期限，标准中没有作具体规定，可根据企业的实际情况来规定。详细的淬火与回火方法见表 2. 2-1。

表 2. 2-1　淬火与回火方法

步　骤	方　法
1. 待处理件的验收	应根据材料、处理状态、外观、形状和尺寸的规定验收工件。必要时应对一些重要的或有疑问的项目进行复检
2. 工艺的制定	应根据工件的特征（材料牌号、处理前的形状、形态及尺寸等）、热处理目的、批量及设备等条件和是否进行后续加工来制定合理的热处理工艺
3. 装炉	工件必须放置在有效加热区内，装炉量、装炉方式及堆放形式均应确保加热、冷却均匀一致，且不致造成畸变和其他缺陷。使用工夹具时，应检验其完好性
4. 淬火加热及冷却	应正确选择加热规范，必要时可进行适当的预热。使用可控气氛炉或热浴槽时，要调整加热前及加热过程中介质的成分，不能引起工件脱碳及腐蚀 1）加热温度。选择加热温度的依据是钢的临界点。其一般原则如下：亚共析钢：Ac_3 + （30 ~ 50）℃，过共析钢、共析钢：Ac_1 +（30 ~ 50）℃ 选择加热温度时还应考虑到工件的材料牌号、性能要求、原始组织形态等因素。必要时，应进行小批量试淬，以选择合适的加热温度范围 2）加热速度。高碳高合金钢及形状复杂的或者截面大的工件应进行预热，或者采用低温入炉控制升温速度的加热方式。中小件可直接放入达到淬火温度的炉中加热 3）加热时间。炉中的工件应在规定的加热温度范围内保持适当的时间，保证必要的组织转变和扩散 加热时间与工件的材料牌号、形状及尺寸、加热介质、加热温度、加热方式、装炉方式、装炉量等因素有关。应根据具体情况而定，必要时应通过试淬以确定合适的加热时间 4）应正确选择冷却规范，使表面各部分的冷却在规定的温度范围内大致均匀。冷却过程中冷却介质的使用温度范围不得超过标准中的表 6 的规定。淬火冷却方法的分类见表 2. 2-2，淬火后硬度与截面、厚度的关系见表 2. 2-3
5. 回火加热及冷却	淬火后应及时回火，以消除淬火时产生的残余内应力，提高材料的塑性和韧性；获得良好的综合力学性能；稳定工件尺寸，使钢的组织在工件使用过程中不发生变化 回火温度和回火时间由工件的材料牌号、性能要求确定。确定回火时间还应考虑到工件的尺寸及加热介质等因素 对具有第一类回火脆性的钢必须避开回火脆性温度区间；对具有第二类回火脆性的钢，在回火脆性温度区间内加热后应采用油或水冷却 合金元素对回火过程的影响见表 2. 2-4，各种工件的回火温度及回火目的见表 2. 2-5，常用钢硬度与回火温度的关系见表 2. 2-6
6. 淬火与回火后的辅助工序	在校直淬火与回火件时所产生的残余内应力，如对其后的机械加工质量和使用性能产生较大影响，应施行去应力处理 在清理淬火与回火件时，不能使其表面受到有害影响。有温度要求的清理和清洗设备，应配备分辨力不大于 5℃的测温仪表
7. 过程记录	对温度、时间等工艺参数应按规定做必要的记录并予以保存，必要时应得到有关人员的确认

表 2. 2-2　淬火冷却方法的分类

淬火冷却方法		方法特点	适用范围
按冷却介质分	水冷淬火	以水为冷却介质的淬火冷却	低、中碳钢及低碳、低合金钢工件
	油冷淬火	以油为冷却介质的淬火冷却	大多数合金结构钢及合金工具钢工件
	空冷淬火	以空气作为冷却介质的淬火冷却	高速钢、马氏体不锈钢工件

（续）

淬火冷却方法		方法特点	适用范围
按冷却介质分	风冷淬火	以强迫流动的空气或压缩空气作为冷却介质的淬火	中碳合金钢大型工件
	气冷淬火	以 N_2、H_2、He 等气体在负压、常压和高压下冷却的淬火	在真空炉内的淬火冷却
	盐水淬火	以盐类水溶液作为冷却介质的淬火	碳钢及低合金工具钢
	有机聚合物水溶液淬火	以聚合物水溶液作为冷却介质的淬火	冷速介于水、油之间或代替油冷
按冷却方式分	喷液淬火	用喷射液体流作为冷却介质的淬火	多用于表面淬火或局部淬火
	喷雾冷却淬火	工件在水和空气混合喷射的雾中冷却的淬火	中碳合金钢大型工件
	热浴淬火	工件在熔盐、熔碱或熔融金属或高温油中的冷却淬火	中碳钢及合金钢为减小变形
	双介质淬火	工件奥氏体化后先浸入冷却能力强的介质，在材料即将发生马氏体转变时立即转入冷却能力较弱的介质中冷却的淬火	中高碳合金钢为减小畸变并获得较高硬度时的冷却方法 适用于尺寸较大的工件
	自冷淬火	工件局部或表层奥氏体化后，依靠向未加热区域传热而自冷淬火的方法	高能量密度加热的自冷淬火等
	模压淬火	工件在奥氏体化后在特定夹具下为减少淬火畸变而进行的淬火	板状、片状及细长杆类工件淬火
	预冷淬火（延迟淬火）	将工件奥氏体化后先在空气中或其他缓冷淬火冷却介质中预冷到稍高于 Ar_1 或 Ar_3 温度，然后再用较快的冷却介质进行淬冷的方法	截面变化较大，或形状较复杂易淬裂的工件
按加热冷却后组织	马氏体分级淬火	钢制工件奥氏体化后浸入温度稍高或稍低于 *Ms* 点的碱浴或盐浴中保持适当时间，在工件整体达到介质温度后取出空冷以获得马氏体组织为主的淬火	为减小淬火应力的高碳工具钢及合金工具钢的工具、模具
	贝氏体等温淬火	钢或铸铁工件加热奥氏体化后快冷到贝氏体转变温度区间等温，使奥氏体转变为主要是贝氏体组织的淬火工艺	对形状复杂的中高合金工具钢，可获得较高硬度与韧性，且畸变小
	亚温淬火	亚共析钢制工件在 Ac_1 ~ Ac_3 温度区间奥氏体化后淬火冷却获得马氏体及铁素体组织的淬火工艺	低、中碳钢及低合金结构钢，抑制回火脆性，降低临界脆化温度（FATT）

表 2.2-3　淬火后硬度与截面、厚度的关系

截面、厚度或直径/mm	≤3	4 ~ 10	11 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 80	80 ~ 120
材　　料	淬火表面硬度 HRC						
15 渗碳水淬 15 渗碳油淬	58 ~ 65 58 ~ 62	58 ~ 65 40 ~ 60	58 ~ 65	58 ~ 65	58 ~ 62	50 ~ 60	

（续）

截面、厚度或直径/mm	≤3	4～10	11～20	20～30	30～50	50～80	80～120
材　料	淬火表面硬度 HRC						
35 水淬	45～50	45～50	45～50	35～45	30～40		
45 水淬 45 油淬	54～59 40～45	50～58 30～35	50～55	48～52	45～50	40～45	25～35
T8 水淬 T8 油淬	60～65 55～62	60～65	60～65	60～65	56～62	50～55	40～45
20Cr 渗碳油淬 40Cr 油淬	60～65 50～60	60～65 50～55	60～65 50～55	60～65 45～50	56～62 40～45	45～55 35～40	
35SiMn 油淬 65SiMn 油淬	48～53 58～64	48～53 58～64	48～53 50～60	45～50 48～55	40～45 45～50	35～40 40～45	35～40
GCr15 油淬	60～64	60～64	60～64	58～63	52～62	48～50	
CrWMn 油淬 T10 碱浴	60～65 61～64	60～65 61～64	60～65 61～64	60～64 60～62	58～63	56～62	56～60

表 2.2-4　合金元素对回火过程的影响

合金元素	作　用
硅	溶入 ε 相碳化物，使其稳定性提高，延长第一阶段时间，并提高第三阶段温度
镍、钴、铝	非碳化物形成元素，对回火三个阶段有延缓作用，铝显著阻止 ε→θ 相碳化物的转化
铬	既能形成合金碳化物，又可溶入渗碳体，推迟回火三个阶段，增加马氏体耐回火性，$w(Cr)12\%$ 钢在 450℃出现二次硬化现象，但 Cr_7C_3 极易粗化
锰	大量溶入渗碳体中，降低 ε→θ 转化温度，其作用与铬、铝、硅作用相反
钼、钨、钒、钛、铌	强烈形成碳化物元素，不溶于渗碳体中，大于 400℃分别形成稳定碳化物并造成二次硬化（形成 Mo_2C、V_4C_3、W_2C、TiC、NbC 等）

表 2.2-5　各种工件的回火温度及回火目的

工件名称	回火温度/℃	回火组织	回火目的	工艺名称
工具、轴承、渗碳件及碳氮共渗件、表面淬火件	150～250	回火马氏体	在保持高硬度的条件下，使脆性有所降低，残余内应力有所减小	低温回火
弹簧、模具等	350～500	回火托氏体	在具有高屈服强度及优良的弹性的前提下使钢具有一定塑性和韧性	中温回火
主轴、半轴、曲轴、连杆、齿轮等重要零件	500～650	回火索氏体	使钢既有较高的强度又有良好的塑性和韧性	高温回火
切削加工量大而变形要求严格的工件及淬火返修件	600～760		消除内应力	去应力回火
精密工模具、机床丝杠、精密轴承	120～160℃长期保温	稳定化的回火马氏体及残留奥氏体	稳定钢的组织及工件尺寸	稳定化处理

表 2.2-6　常用钢硬度与回火温度的关系

要求硬度 HRC	牌号							
	35	40、45、40Cr	50、55、45Cr	60、65	T7、T8、T9	T10、T12	65Mn	Cr9Si2
	回火温度/℃							
18～20	600	620			630	650		
20～22	580	600			620	630		
22～24	560	580			610	620		
24～26	540	560			590	600		
28～30	500	520			550	560		700
30～32	480	500	520	530	530	540		680
32～34	450	470	500	510	510	520		650
34～36	430	450	480	490	490	500		640
36～38	400	420	460	470	470	480	460	620
38～40	380	400	440	450	450	460	400	
40～42	350	380	420	430	430	440	420	
42～44	330	360	400	410	410	420	400	
26～28	520	540			570	590		
44～46	300	340	380	390	390	400	380	
46～48		320	360	370	370	380	360	
48～50		300	340	350	350	360	340	
50～52		280	320	330	330	340	320	
52～54		250	300	300	310	320	300	
54～56		220	260	280	290	300	280	
56～58			200	250	270	280	260	
58～60					240	260	240	
60～62					180	200	220	
62～64					160	180		

要求硬度 HRC	牌号								
	GCr6 GCr9 GCr15	CrMn 9SiCr CrWMn	5CrNiTi 5CrNiMo 5CrMnMo		Cr12 Cr12Mo Cr12MoV		7Cr3 8Cr3	4CrW2Si 5CrW2Si	3Cr2W8V 4Cr2W8
			大件	小件	一次硬化	二次硬化			
	回火温度/℃								
18～20		680							
20～22		660							
22～24		640							
24～26		620			780				
28～30	600	600			760				
30～32	590	580			750				
32～34	580	560			730				
34～36	570	540			720				
36～38	560		540	600	700		560		
38～40	540		520	580	680		540		
40～42	520		500	540	670		520		640
42～44	500		460	500	660		480		620
26～28	470		440	470	640		460		600
44～46	430		420	440	620		440		590
46～48	400		400	400	600		420		570
48～50	360		380	380	580		380		560
50～52	340		340	340	560			300	
52～54	320		280	280	520			280	
54～56	300		230	230	420			260	
56～58	280				320				
58～60	230				300	500			
60～62	200				240	525			
62～64	160				180				

7. 淬火与回火后工件的质量检验

本标准中这一章对质量检验内容（外观、表面硬度、金相组织、畸变等）、质量试验方法、质量试验设备及保养等都做出了相应规定。

（1）外观。表面应无裂纹及伤痕等。淬火开裂原因及防止措施见表 2. 2-7。

表 2. 2-7 淬火开裂原因及防止措施

裂纹类型	特　征	形 成 条 件	防 止 措 施
纵向裂纹	由表及里，深而长	淬透工件易发生，原材料有碳化物带状偏析或非金属夹杂物延伸	控制原材料质量，合理选择预备热处理以改善原始组织
弧形裂纹	常位于工件角落处，隐于表面层下	易发生于未淬透工件或渗碳淬火件	改变工件设计、截面过渡圆角合理化
网状裂纹	位于工件表面、深度 0. 01 ~ 2mm	表层脱碳件、化学热处理和表面淬火件易出现	采取加热保护，避免脱碳、延缓淬火冷却，降低淬火温度
剥离开裂	表面为淬硬层剥离	表面淬火件或化学热处理件	合理选择介质，延缓冷却
显微裂纹	在显微组织缺陷处	淬火件高碳马氏体针附近	避免加热过热和晶粒粗大

（2）表面硬度。表面硬度是检验淬火回火件质量的最常用指标。本标准已指明了检验工件硬度需遵循的相关标准。根据工件的类别，其硬度偏差不得超过标准中表 8 ~ 表 11 的规定。在编制本标准的过程中，我们对国内不同类型的企业进行了调研和征询意见。现将国内不同类型的淬火回火件表面硬度的取值范围进行归纳见表 2. 2-8；淬火硬度不足的原因及控制措施见表 2. 2-9；淬火软点产生原因及控制措施见表 2. 2-10；回火缺陷产生原因及控制措施见表 2. 2-11。

表 2. 2-8 不同类型的淬火回火件表面硬度的取值范围

热处理件名称	常用钢种	表面硬度范围	备　注
高速钢工具	W18Cr4V，W9Cr4V2 W6Mo5Cr4V2	62 ~ 65HRC，63 ~ 66HRC 63. 5 ~ 66HRC，64 ~ 66HRC	
冷冲模	Cr12，Cr12MoV	58 ~ 62HRC（薄板） 55 ~ 58HRC（厚板）	上模取下限 下模取上限
冷镦模	W18Cr4V T10	60 ~ 62HRC，58 ~ 61HRC	上模取下限 下模取上限
冷挤模	Cr12MoV、W18Cr4V	60 ~ 64HRC	
热锻模	5CrNiMo 5CrMnMo	38 ~ 42HRC 40 ~ 45HRC 45 ~ 50HRC	大型 >400mm 中型 250 ~ 400mm 小型 <250mm
压铸模	3Cr2W8V	45 ~ 50（40 ~ 55） HRC 38 ~ 42（37 ~ 45） HRC	压铸铝合金 压铸铜合金
热冲模	3Cr2W8V	45 ~ 50（47 ~ 51） HRC	
轴承	GCr15 GCr15SiMn	61 ~ 65HRC 62 ~ 66HRC 61 ~ 66HRC	滚针、套圈 钢球 钢球直径 >45mm
弹簧	65Mn，60SiMn 60Si2Mn	42 ~ 48HRC，45 ~ 52HRC 45 ~ 50HRC	
机床零件	结构钢，GCr15 等 结构钢，T10，GCr15 等	250 ± 15HBW 235 ± 15HBW	轴、套、环类零件 齿轮、丝杆等零件
调质件	45，40Cr 等调质钢	190 ~ 220HBW，220 ~ 270HBW 270 ~ 310HBW	

表 2. 2-9　淬火硬度不足原因及控制措施

序号	淬火硬度不足的原因	控　制　措　施
1	淬火冷却介质冷却能力差，工件表面有铁素体、托氏体等非马氏体组织	1）采用冷速较快的淬火冷却介质 2）适当提高淬火加热温度
2	淬火加热温度低，或预冷时间长，淬火冷却速度低，出现非马氏体组织	1）确保淬火加热温度正常 2）减少预冷时间
3	亚共析钢加热不足，有未溶铁素体	严格控制加热温度、保温时间和炉温均匀度
4	碳钢或低合金钢采用水-油双介质淬火时，在水中停留时间不足，或从水中提出零件后，在空气中停留时间过长	严格控制零件在水中停留时间及操作规范
5	钢的淬透性差，且工件截面尺寸大，不能淬硬	采用淬透性好的钢
6	高碳高合金钢淬火加热温度高，残留奥氏体过量	降低淬火加热温度或采用深冷处理
7	等温时间过长，引起奥氏体稳定化	严格控制分级或等温时间
8	表面脱碳	采用可控气氛加热或其他防脱碳措施
9	硝盐或碱浴中水分含量过少，分级冷却时有托氏体等非马氏体形成	严格控制盐浴和碱浴中的水分
10	合金元素内氧化，表层淬透性下降，出现托氏体等非马氏体而内部则为马氏体组织	1）降低炉内气氛中氧化性组分含量 2）选用冷速快的淬火冷却介质

表 2. 2-10　淬火软点产生原因及控制措施

序号	软点形成原因	控制措施
1	淬火时工件表面气泡未及时破裂致使气泡处冷速降低，出现非马氏体组织	1）增加介质与工件的相对运动 2）控制水温和水中的杂质（油、皂类）
2	工件表面局部的氧化皮、锈斑或其他附着物（涂料）淬火时未剥落，使冷速降低	淬火前清理工件表面
3	原始组织不均匀，有严重的带状组织或碳化物偏析	原材料进行锻造和预备热处理，使组织均匀化

表 2. 2-11　回火缺陷产生原因及控制措施

序号	回火缺陷	产生原因	控制措施
1	回火硬度偏高	回火不足（回火温度低、回火时间不够）	提高回火温度、延长回火时间
2	回火硬度低	1）回火温度过高 2）淬火组织中有非马氏体	1）降低回火温度 2）改进淬火工艺，提高淬火硬度
3	回火畸变	淬火应力回火时松弛引起畸变	加压回火或趁热校直
4	回火硬度不均	回火炉温不均、装炉量过多炉气循环不良	炉内应有气流循环风扇或减少装炉量
5	回火脆性	1）在回火脆性区回火 2）回火后未快冷引起第二类回火脆性	1）避免第一类回火脆性区回火 2）在第二类回火脆性区回火后快冷
6	网状裂纹	回火加热速度过快，表层产生多向拉应力	采用较缓慢的回火加热速度
7	回火开裂	淬火后未及时回火形成显微裂纹，在回火时裂纹发展至断裂	减小淬火应力，淬火后应及时回火
8	表面腐蚀	带有残盐的零件回火前未及时清洗	回火前应及时清洗残盐

（3）金相组织。金相组织的评定按有关标准进行。

1）中碳钢和中碳合金结构钢淬火后，一般应得到马氏体。由于奥氏体化温度不同，马氏体形态和大小不一样，一般分为 8 级，见 JB/T 9211《中碳钢与中碳合金结构钢马氏体等级》中表 1。

2）高碳工具钢和高碳低合金工具钢正常淬火组织是均匀分布的未溶碳化物 + 隐晶马氏体（或少量细片状马氏体）。若马氏体粗大，残留奥氏体量多，未溶碳化物减少，则属于过热组织。

3）高速工具钢淬火通常以晶粒度控制淬火质量，如钨系高速工具钢一般为 9 ~ 10 级晶粒度，形状简单及要求热硬性高的刀具可控制在 8 ~ 9 级，微型刀具是 11 级。若晶粒粗大，且具有角状或网状碳化物，则属于过热组织。

（4）畸变。工件的畸变应不影响其后的机械加工及使用。具体的畸变量应由冷、热加工工艺人员协商确定。工件的畸变特征见表 2. 2-12，淬火回火后的畸变允许值不得超过表 2. 2-13 的规定，几种常见形状复杂工件的淬火畸变倾向见表 2. 2-14。

表 2. 2-12　工件淬火畸变特征

零件种类	轴　　类	扁平形	正方形	圆（方）孔体	扁圆（方）孔体
热处理前					
热应力畸变	d^+, l^-	d^-, l^+	趋向球形	d^-, D^+, l^-	D^+, d^-
组织应力畸变	d^-, l^+	d^+, l^-	平面内凹棱角突出	d^+, D^-, l^+	D^+, d^-
体积效应畸变	d^+, l^+或d^-, l^-	d^+, l^+或d^-, l^-	a^+, c^+或a^-, c^-	d^+, D^-, l^-或d^-, D^+, l^+	D^-, d^+, l^-或D^+, d^-, l^+

注：1. 当圆（方）孔体的内径 d 很小时，则畸变规律如轴类或正方体类；当扁圆（方）孔体的内径 d 很小时，则畸变规律如扁平体。

2. “ - ”表示收缩趋向，“ + ”表示胀大趋向。

表 2. 2-13　淬火回火件允许畸变的最大值　　（单位：mm）

类型	每米允许弯曲的最大值	备　　注
1 类	0. 5	以成品为主
2 类	5	以毛坯为主
3 类	不要求	成品或毛坯

注：1. 1 类为成品原样使用，或者只进行研磨或进行部分磨削；2 类为毛坯进行切削加工或部分切削加工；3 类为除 1 类和 2 类以外的工件。

2. 表中允许弯曲的最大值系指淬、回火件经矫正后的值。

表 2.2-14　常见形状复杂工件的淬火畸变倾向

工件形状	畸变倾向	说　明	工件形状	畸变倾向	说　明	减小措施
	弯曲	凸向冷速快的一侧；50 钢 820℃水淬		弯曲 弯曲	凸向冷速快的一侧；T10 钢 800℃水淬	1）力求工件各面冷却均匀 2）槽口用石棉绳堵塞后淬火 3）厚大部分向下倾斜淬火 4）厚大部分或冷速较慢部分迎向水面摆动淬火 5）校直
	弯曲	凸向冷速快的一侧；T10 钢 800℃水淬		弯曲 β^+ 弯曲	β 角增大（+）平面易凹，向外凸起；50 钢 820℃水淬	

8. 淬火与回火后的安全卫生要求

淬火与回火过程的安全卫生要求应符合 GB 15735《金属热处理生产过程安全卫生要求》的有关规定。（北京机电研究所贾洪艳供稿）

三、标准内容（GB/T 16924—2008）

钢件的淬火与回火

1　范围

本标准规定了在炉中加热的钢件淬火与回火的技术要求及方法。

本标准不适用于表面加热淬火方法。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 224　钢的脱碳层深度测定方法

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）（GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（GB/T 231.1—2002，eqv ISO 6506-1：1999）

GB/T 699　优质碳素结构钢

GB/T 1182　产品几何技术规范（GPS）　几何公差　形状、方向、位置和跳动公差标准（GB/T 1182—2008，ISO 1101：2004，IDT）

GB/T 1220　不锈钢棒

GB/T 1221　耐热钢棒

GB/T 1222　弹簧钢
GB/T 1298　碳素工具钢
GB/T 1299　合金工具钢
GB/T 3077　合金结构钢
GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）
GB/T 4341　金属肖氏硬度试验方法
GB/T 5216　保证淬透性结构钢
GB/T 6394　金属平均晶粒度测定法
GB/T 7232　金属热处理工艺术语
GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法
GB/T 9943　高速工具钢（GB/T 9943—2008，ISO 4957：1999，NEQ）
GB/T 11352　一般工程用铸造碳钢件（GB/T 11352—1989，neq ISO 3755：1991）
GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号
GB/T 13298　金属显微组织检验方法
GB/T 13324　热处理设备术语
GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求
GB/T 16923　钢件的正火与退火
GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法
GB/T 18254　高碳铬轴承钢
GB/T 19944　热处理生产燃料消耗计算和测定方法
JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度测试通则
JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气一般技术要求
JB/T 9210　真空热处理

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324、GB/T 16923 确立的术语和定义适用于本标准。

4　淬火与回火工艺分类及代号

淬火与回火的工艺分类及代号应符合 GB/T 12603 的规定。淬火与回火的工艺分类及代号见表1。

表1　淬火与回火的工艺分类及代号

工　艺	代　号	工　艺	代　号
淬火	513	盐浴淬火	513-H
淬火与回火	514	流态床加热淬火	513-10
空气淬火	513-A	加压淬火	513-Pr
油冷淬火	513-O	双介质淬火	513-I
水冷淬火	513-W	分级淬火	513-M
盐水淬火	513-B	等温淬火	513-At
有机水溶液淬火	513-Po		

5　待处理工件

5.1　材料

材料的牌号和化学成分等应符合 GB/T 699、GB/T 3077、GB/T 5216、GB/T 1298、GB/T 1299、GB/T 9943、GB/T 1220、GB/T 1221、GB/T 1222、GB/T 18254、GB/T 11352 的有关规定。

5.2　加工状态

根据表 2 所列项目注明待处理工件的加工状态，并保存相关记录。

表 2　待处理工件的加工状态

序号	项　　目	备　　注
1	材料数据 牌号 化学成分① 炼钢炉号① 硬度及其他力学性能① 淬透性① 金相组织①	 晶粒度、脱碳层、非金属夹杂物、显微组织
2	处理前的加工制造方法 铸造 锻造 轧制 挤压 冲压 拉拔 旋压 焊接 气割 机械加工	 注明铸造工艺，必要时应注明金相组织 注明冷锻、热锻，必要时应注明锻造比 注明冷轧、热轧 注明冷挤压、热挤压 注明冷、热冲压状态 注明冷、热拉拔 注明冷、热旋压 注明焊接方法 注明气割方法 注明机械加工方法及切削量
3	处理前的热处理状态 正火 完全退火 球化退火 去应力退火 淬火回火（调质） 化学热处理	需要时，注明加热温度、保温时间和冷却方法 注明化学热处理工艺类型
4	矫正及其程度①	注明冷矫正或热矫正

①　可根据工件的具体要求，部分或全部省略。

5.3　外观、质量、形状、尺寸、精度

工件的外观、质量、形状、尺寸、精度偏差要求应符合 GB/T 1182 的规定，记录应予以保存见表 3。

表 3　待处理工件的外观、质量、形状、尺寸、精度记录

序号	项　　目	备　　注
1	外观	裂纹、划痕、锈蚀、黑皮等
2	质量①	以 kg 作为计量单位
3	工件的形状① 特殊形状 厚度差异 孔的形状及位置	用简图表示

（续）

序号	项　　目	备　　注
4	尺寸和精度[①] 　尺寸 　整体加工偏差 　表面粗糙度 　尺寸精度 　形状偏差[②] 　定向公差[②] 　定位公差[②]	用简图表示 直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度及面轮廓度 平行度、垂直度、倾斜度 位置度、同轴度、同心度、对称度

① 可根据工件的具体要求，部分或全部省略。

② 各几何公差的定义依据 GB/T 1182。

5.4　待处理件的验收

应根据 5.1、5.2 和 5.3 的规定验收工件。必要时应对一些重要的或有疑问的项目进行复检。

6　工件的分类

根据品质等级要求、材料的淬透性及质量大小，对工件进行分类见表 4。对有特殊要求的工件分类应由相关方协商确定。

表 4　工件的分类

工件类别	淬透性								
	高			中			低		
	小件	中件	大件	小件	中件	大件	小件	中件	大件
1	✓	✓	—	✓	—	—	—	—	—
2	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	—	—
3	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—
4	—	—	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓
5	—	—	—	—	—	✓	✓	✓	—

注：1. 依据表面硬度精度等要求的高低分类。

2. 工件材料的淬透性高，淬透性中和淬透性低的钢号列举如下：

高淬透性：W18Cr4V、W9Cr4V2、Cr12、Cr12MoV、Cr12W、3W4Cr2V、3Cr2W8V、5CrNiMo、5CrMnMo、40CrNi2Mo、20Cr2Ni4 等。

中淬透性：45Mn2、20CrMo、30CrMo、35CrMo、42CrMo、40CrNi、40CrNiMo、CrW5、38CrMoAl、42Cr9Si2、40Cr10Si2Mo、CrWMn、5CrW2Si、60Si2Mn、GCr9、GCr15、20CrMnTi 等。

低淬透性：35、40、45、60、65、75、20Cr、30Cr、40Cr、45Cr、T10、T12、T13 等。

3. 以质量大小分类为原则，按下列规定进行：小件：<5kg；中件：5～30kg；大件：>30kg。

4. 也可根据工件有效尺寸或截面变化确定工件的分类，具体情况由相关方协商决定。

7　淬火回火设备

7.1　淬火加热炉

7.1.1　按 GB/T 9452 规定，定期对加热炉的有效加热区进行测定。

7.1.2　根据工件类别选择加热炉，其有效加热区温度偏差值应满足表 5 的要求。

表 5　淬火加热炉有效加热区的温度偏差值

工　件　类　别	允许温度偏差值/℃
1，2	±10
3，4，5	±15

7.1.3　燃料炉的火焰不能与工件直接接触。

7.1.4　盐浴加热炉的介质不得对工件有腐蚀及其他有害影响，应定期对盐浴进行有效脱氧。

7.1.5　保护气氛加热炉使用的氩气、氮气、氢气应符合 JB/T 7530 的要求。

7.1.6　可控气氛炉的炉气成分应根据热处理工艺要求进行调节和控制，气氛介质原料应符合相关的规定。

7.1.7　真空炉的技术要求应符合按 JB/T 9210 规定。

7.1.8　流态粒子炉悬浮粉粒的种类、粒度以及气流的流速、流量应能调整。

7.1.9　连续式炉输送速度应能调节。

7.2　淬火冷却设备

7.2.1　冷却设备应配有搅拌或循环冷却装置。

7.2.2　冷却介质使用温度控制范围不得超过表 6 的规定。

表 6　冷却介质使用温度的控制范围

淬火冷却设备	冷却介质使用温度控制范围/℃	适用工件类别
水及水溶液槽	设定温度 ±10	1，2，3，4，5
油槽	设定温度 ±20	1，2，3，4，5
热浴槽	设定温度 ±10	1，2
空气或保护气氛	无特殊限制（室温）	1，2，3，4，5

注：表中的设定温度是指冷却介质使用温度范围的中间值。

7.3　回火加热炉

7.3.1　应定期按 GB/T 9452 规定对加热炉的有效加热区进行测定。

7.3.2　根据工件类别的要求选择加热炉，有效加热区温度偏差值应满足表 7 的规定。

表 7　回火加热炉有效加热区温度偏差

工　件　类　别	允许温度偏差/℃
1，2	±10
3，4，5	±15

7.3.3　热浴不得对工件有腐蚀和其他有害影响。

7.3.4　燃料炉、可控气氛炉、真空炉及连续式回火炉的技术要求，应符合 7.1.3、7.1.5、7.1.6、7.1.8 的规定。

7.4　温度测定及温度控制装置

7.4.1　加热炉的每个加热区应配有温度测定及温度控制自动记录装置，并设有报警装置。

7.4.2　设定温度低于 400℃时，热电偶型测温系统指示综合误差不应超过 ±4℃，高于 400℃时不应超过设定温度的 ±1%。

7.5　设备的维护保养

应制定适当的设备操作规程和维护保养制度，并妥善保管有关记录。

8　淬火与回火工艺

8.1　工艺的制定

应根据待处理工件的特征（材料、处理前的状态及形状、尺寸等）、热处理目的、批量、热处理设备等具体条件和是否进行后序加工来制定合理的热处理工艺。淬火与回火工艺规范可参照附录 A。

8.2　装炉

工件必须放置在有效加热区内。装炉量、装炉方式及堆放形式均应确保加热、冷却均匀一致，且不致造成畸变和其他缺陷。使用工夹具时，应检验其完好性。

8.3 淬火加热和冷却

8.3.1 应正确选择加热规范，必要时可进行适当预热。使用可控气氛炉或热浴槽时，要调整加热前及加热过程中介质的成分，不能引起工件脱碳或腐蚀。

8.3.2 应正确选择冷却规范，使工件表面各部分的冷却在规定的温度范围内均匀。冷却过程中冷却介质的使用温度范围不应超过表6的规定。

8.4 回火加热及冷却

工件的回火应在淬火后及时进行。应正确选择回火的加热温度、加热速度、冷却速度及回火次数。

8.5 后续辅助工序

在校直淬火与回火件时产生的残余内应力，如对其后的机械加工品质和使用性能产生较大影响时，应进行去应力退火。

在清理淬火与回火件时，不能使其表面受到有害影响。

8.6 工艺的记录

应记录工艺实施的条件和过程，包括记录温度、时间等工艺参数，并保存记录，必要时应得到相关方的确认。

9 淬火与回火后工件的品质检验

9.1 品质检验内容和要求

9.1.1 外观

表面应无裂纹及划痕等。可采用目测或着色鉴定裂纹及伤痕。必要时按有关标准进行超声波或磁粉探伤检验。

9.1.2 表面硬度

表面硬度必须满足相关工艺技术文件的要求。

根据相关方协商的工件分类，其表面硬度偏差范围不得超过表8～表11的规定。

表面硬度测定部位由工件的技术文件规定。对局部淬火或回火件，应避免在淬火（回火）区与未淬火（回火）区的交界处测定硬度。

9.1.3 金相组织

应达到相关方认可的工件技术文件所要求的组织。

表8 表面的维氏硬度偏差允许值

工件类别	硬度偏差 HV					
	单件			同批		
	<350	350～500	>500	<350	350～500	>500
1	20	25	40	25	30	60
2	25	35	60	40	55	100
3	30	45	80	55	80	140
4	45	70	120	70	100	180
5	55	80	—	75	110	—

表9 表面的洛氏硬度偏差允许值

工件类别	硬度偏差 HRC					
	单件			同批		
	<35	35～50	>50	<35	35～50	>50
1	2	2	2	3	3	3
2	3	3	3	5	5	5

（续）

工件类别	硬度偏差 HRC					
	单 件			同 批		
	<35	35~50	>50	<35	35~50	>50
3	4	4	4	7	7	7
4	6	6	6	9	9	9
5	7	7	—	10	10	—

表 10 表面的布氏硬度偏差允许值

工件类别	硬度偏差 HBW			
	单 件		同 批	
	<330	330~450	<330	330~450
1	15	20	25	30
2	20	30	35	50
3	30	40	50	70
4	40	60	65	90
5	50	70	70	100

表 11 表面的肖氏硬度偏差允许值

工件类别	硬度偏差 HS					
	单 件			同 批		
	<50	50~70	>70	<50	50~70	>70
2	3	4	5	5	6	8
3	4	5	6	7	9	11
4	6	8	10	9	11	14
5	7	9	—	10	13	—

表 8~表 11 注：1. HV、HRC、HBW 及 HS 各数值是使用各种硬度试验机的实测值，各表中的硬度值之间没有直接换算关系。

2. 同批是指采用同一炼钢炉号、同一批处理的工件，对于周期式热处理设备，是指用同一炉次处理的一批工件；对于连续式热处理炉设备，是指在同一条件下、同一班次处理的一批工件。

3. 测定部位按工件的形状来确定，淬火冷却条件大致相同。

4. 局部淬火与回火时，测定部位不应选择靠近淬火区边界的区域。

9.1.4 畸变

工件的畸变应不影响其后的机械加工及使用。具体的畸变量应试验确定或由交接双方协商确定。

9.2 品质检验用仪器和量具

所使用的各种仪器和量具应有计量部门颁发的合格证，并在有效期内使用。

9.3 品质检验方法

9.3.1 表面硬度

硬度检验按 JB/T 6050、GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1 和 GB/T 4341 进行。

9.3.2 探伤

可采用肉眼或着色鉴定裂纹及伤痕。必要时按有关标准进行超声波或磁粉探伤检验。

9.3.3 金相组织

检验方法按 GB/T 13298 进行，金相组织的评定按有关标准进行，如晶粒度按 GB/T 6394 进行，表层脱碳按 GB/T 224 进行。

9.3.4 畸变

可使用相应的仪器和量具测量。

10 安全卫生要求

淬火与回火过程的安全卫生要求应符合 GB 15735 的有关规定。

11 能源消耗要求

淬火与回火工艺的能源消耗定额应符合 GB/T 17358、GB/T 19944 的有关规定。

12 产品报告单

根据要求可按每批或每炉开具报告单，报告单应包括下列内容：

a）批号或炉号；

b）工艺类型或工艺代号；

c）工件的名称、数量及质量；

d）操作者姓名或代号；

e）品质检验结果；

f）检测或评判依据；

g）品质检验员姓名或代号；

h）加工单位名称；

i）报告日期：年　月　日。

附　录　A

（资料性附录）

钢件淬火与回火工艺规范的选择

A.1 加热温度

A.1.1 选择加热温度的依据是钢的临界点。其一般原则如下：

亚共析钢：$Ac_3+(30\sim50)$℃；

共析钢、过共析钢：$Ac_1+(30\sim50)$℃。

A.1.2 选择加热温度时还应考虑工件的材料牌号、性能要求、原始组织状态等因素。必要时应进行小批量试淬，以选择合适的加热温度范围。

A.2 加热速度

高碳高合金钢及形状复杂的或者截面大的工件应进行预热，或者采用低温入炉、控制升温速度的加热方式。形状不太复杂的中小件可直接放入达到淬火温度的炉中加热。

A.3 加热时间

炉中的工件应在规定的加热温度范围内保持适当的时间，保证必要的组织转变和扩散。

加热时间与工件的材料牌号、形状和尺寸、加热温度、加热介质、加热方式、装炉方式、装炉量等因素有关。应根据具体情况而定，必要时应通过试样试淬来确定合适的加热时间。

A.4 冷却

A.4.1 冷却速度应控制适当。冷却介质的使用温度控制范围不应超过 7.2.2 规定的范围。

A.4.2 应采用适当的冷却方式，使工件表面各部位获得均匀的冷却。

A.5 回火工艺规范的选择

A.5.1 回火温度、回火时间和回火次数由工件的材料牌号、性能要求确定。确定回火时间还应考虑到工件的尺寸及加热介质等因素。

对具有第一类回火脆性的钢，必须避开回火脆性温度区间；对具有第二类回火脆性的钢，在回

火脆性温度区间内加热后应采用油或水冷却。

A. 5. 2　工件的回火应在淬火后及时进行。

第三节　真空热处理

一、概论

金属材料真空热处理时，工件是在真空（负压）空间中实施加热、冷却的。相对一般常压下的热处理，真空热处理有如下的特点：

（1）脱气作用。在真空加热过程中，降低炉压，材料中残留气体（H_2、N_2、CO 等）就会逸出（脱气），从而可以改善零件的力学性能，延长使用寿命。

（2）脱脂作用。附在工件上的油脂属于普通脂肪族，是碳、氢和氧的化合物，其蒸气压较高，在真空中加热时会迅速分解为水蒸气、氢和二氧化碳等气体，它们很容易蒸发而被真空泵抽去。

（3）金属元素的蒸发作用。真空热处理时，如炉内真空度高于金属元素的蒸气压，工件表面的金属元素就会蒸发，不但会影响工件的表面粗糙度，影响工件的淬透层、耐蚀性，还会影响炉子的绝缘性。

（4）表面净化作用。如金属表面有氧化膜、氮化物、氢化物及轻微的锈蚀等，在真空中加热时，这些化合物可被还原、分解或挥发而消失，从而使工件获得光洁的表面。

由于净化作用使金属表面活性增强，使渗碳、渗氮、碳氮共渗的速度增快，而且渗层更加均匀，能为真空化学热处理创造良好的条件。

（5）表面保护作用。几乎所有的金属在常压空气中加热时，金属表面会产生氧化而失去金属的光泽。为实现无氧化加热，一般采用保护气体或惰性气体。但对于化学性质活泼的 Ti、Zr 以及难熔金属 W、Mo、Nb、Ta 等，存在微量的氧化性气体就会引起金属氧化；而在真空中，就能确保实现无氧化加热。

（6）工件真空热处理后畸变相对小。主要是由于真空环境下，炉子对工件以辐射方式加热，相对均匀、缓慢。

（7）真空热处理过程基本无污染。由于在真空条件下加热、冷却，其有害气体等污染物的排放极少。

（8）真空热处理过程能耗相对低，效率高。

由于以上这些优点，真空热处理作为绿色热处理的主要手段之一，近年来已成为国际热处理技术发展的热点，成为当今先进制造技术的主要组成部分。

也正是由于以上特点，真空热处理对炉子（包括真空系统）、冷却系统（油冷、气冷）以及工艺方面有具体的不同于传统热处理的技术要求，例如真空度控制、真空加热时的加热滞后现象等，因此有必要专门制定真空热处理的工艺标准。

在真空热处理的发展中，国外相关的国家及行业标准大多集中在设备，主要强调设备安全的标准，以及一些具体产品的真空热处理工艺标准，在较全面的工艺标准方面，技术上比较先进、比较全面的工艺标准主要为 SAE AMS 2769A《航空材料：零件的真空热处理》（1996 年制定，2001 年确认，2009 年修改为 AMS 2769B）。

我国机械行业在 1990 年制定的真空热处理工艺标准，于 1999 年修订，虽对推动真空热处理的发展、扩大应用起过作用，但有一定局限，并已落后于技术发展的现状。航天行业于 2004 年制定的 HB 7750《钛合金零件真空热处理》仅适用于钛合金。因此，为了反映真空热处理技术的发展，

推动该先进技术的广泛应用及进步，有必要制定新的真空热处理的专业标准。

SAE AMS 2769A《航空材料：零件的真空热处理》标准虽较全面，较先进，但用工艺标准来衡量，其偏重于设备，解释性条款过于庞杂，具体的工艺指导性条款显得不够充分，而且偏重航空材料要求，同时均采用非标准计量单位，因此作为采用标准，无法等效采用，也难以用修改采用的方法。为适应我国的技术工艺环境，只能吸取其主要技术内容重新编写，即采用非等效方法。

本标准同时采用了原 JB/T 9210—1999《真空热处理》、HB 7750—2004《钛合金零件真空热处理》，并引用标准中部分技术内容和参数，于 2008 年完成了由机械行业标准转换为国家标准的制定。

二、标准应用说明

1. 标准制定工作简况

本标准修改采用了 SAE AMS 2769A：2001《零件的真空热处理》（英文版），按 GB/T 1.1—2000 编制规则重新起草。两者的技术差异主要有：

1）标准名称、引用文件、工艺分类及代号、常用材料牌号不同。

2）修改了 SAE AMS 2769A：2001 中非标准计量单位为标准计量单位。

3）删减了 SAE AMS 2769A：2001 中第 8 章内容，用“术语和定义”替代部分内容。

4）增加了真空热处理工艺较具体内容及安全卫生、环保、能耗等方面要求。

2. 本标准适用范围

本标准适用于合金工具钢、模具钢、不锈钢、耐热钢、沉淀硬化钢、钛合金、精密合金等金属进行的相关真空加热淬火、真空回火、真空退火、真空固溶处理、真空时效等工艺。明确不适用于真空渗碳或真空渗氮工艺。

本标准主要从真空热处理的设备、工艺材料、工艺、品质控制、能耗、安全卫生提出技术要求。

3. 术语及定义

本标准除采用 GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》、GB/T 13324《热处理设备术语》中相关术语和定义外，还对真空热处理中特殊的术语“真空压强”“脱气”“加热滞后时间”“真空腐蚀”（元素挥发）“分压”进行定义。

4. 真空热处理设备及工艺材料

“设备及工艺材料”为本标准的第 5 章节内容，具体包括真空加热设备（5.1 节）、冷却装置（5.2 节）及冷却介质（5.3 节）三方面内容。

（1）真空加热设备。从炉体材料、能耗、真空抽气及维持一定真空度能力、炉体冷却能力、温控能力以及电器安全等方面提出要求。

1）真空加热炉应满足热处理工艺规范，技术参数应符合相关的标准的规定。加热室内结构材料在热处理中不应与工件或介质气体发生不良反应。

2）真空系统的抽气能力，本标准用“空炉抽到规定真空工作压强时间”来考核，见标准中表 2。

3）真空系统控制能力，应能有效控制惰性气体流量以保持特定分压。

4）真空炉在冷态空炉充分干燥后的压升率应小于 0.64Pa/h；工作态时，可满足常用金属材料真空热处理允许的最大压升率（本标准参考附录 A）。

5）真空炉的温控能力，有效加热区内的温度允许偏差：对于淬火、回火及时效处理时应≤±5°C，对退火、固溶处理时应≤±10°C，温控允许偏差分别为≤±1.5°C、≤±5°C。

6）为正确控制工件的温度，应配备有一个或多个热电偶。热电偶应确保与工件接触，热电偶若与工件材料发生不良反应，则应加护套。若热电偶插入工件的孔内，则插入深度应达热电偶直径10倍以上，或与孔底紧密接触。

7）真空炉的加热电极，对地绝缘电阻在相对恶劣的通水情况下应大于1kΩ。

8）真空炉冷却水进口水压应大于0.25MPa，快速冷却时应大于0.30MPa。流量应能调节，并配有断水报警保护装置。出水口的温升不应超过20°C（气淬时允许短时超过），真空炉炉壳的表面温度不得超过室温30°C。

9）真空气淬炉应配有足够体积的气体储槽，并带有快速充气装置、风扇搅拌和热交换装置。真空回火炉应带有气体循环和快冷装置。

10）应配备有有效的温控系统、压力控制系统。

（2）冷却装置。真空炉应根据需要配置容积足够大的油槽、水槽、贮气槽，均应配有加热、冷却、控温、超温报警及搅拌装置，冷却装置的温控仪表的允许偏差应≤±5°C。

（3）冷却介质

1）冷却用气：合金钢一般采用99.996%纯度的氮气；高温合金一般采用99.999%纯度的氩气；钛合金应采用99.999%纯度的氩气，不能用氮气，否则表面可能会形成化合物。

2）淬火用油应满足工件真空淬火后的硬度及光亮度的要求。

5. 真空热处理工艺过程及工艺要求

工艺过程及工艺要求为本标准的第6章内容，具体包括前期准备（6.1节）、装炉（6.2节）、加热（6.3节）、保温时间（6.4节）、冷却（6.5节）以及出炉（6.6节）。

（1）真空热处理前准备工作

1）设备除常规控制外，对需处理钛合金的真空炉，若先前经非钛合金处理，应采用高温加热等方法清洁炉膛。

2）入炉工件及工装夹具应进行清洗，不应有锈斑，不应有对工件、炉膛产生有害影响的污物、低熔点涂层、镀层等，应烘干。

3）夹具的选择应防止与工件在工艺过程中发生共晶反应或粘合。对于材料在真空下可以相互接触（不粘结）的最高允许温度，在本标准附录B列出了相关数据。若会发生反应，可采用Al_2O_3粉隔离。

（2）真空热处理的加热　真空热处理的加热过程的控制包括两方面：加热速度及真空强度。

1）真空热处理的加热有两个显著的特点：一是空载时炉子的升温速度快；二是工件的加热速度慢。工件在真空炉中加热时热速率低，升温时间长，尤其是在低温预热阶段（<700°C），工件表面与炉膛温差大。工件尺寸越大，温度滞后就越显著。因此，本标准规定工件达到设定加热温度之前应进行分段预热，分段方法见本标准表4。

2）金属在真空炉中实现无氧化加热的基本条件为气氛中氧的分压必须低于金属氧化物的平衡分解压。因此，真空加热时，一定真空强度下，使氧的分压降低到金属氧化物的平衡分解压以下（防止元素蒸发），就可实现金属的无氧化加热。同时，实现金属无氧化加热所需的真空强度还与温度有关，加热温度越高所需的真空度越低。

真空回火时温度相对低，其真空度要比真空淬火的真空度高，才能得到光亮的金属表面。因此，本标准规定，真空回火时，当炉内达一定的真空压强（一般为≤0.133Pa）时向炉内通入高纯氮气到$6.6\times10^4 \sim 2\times10^5$Pa，并用风扇循环，保持此炉压直至结束。

工件真空退火时，应避免因真空压强过低而产生表面真空腐蚀，真空工作压强应满足不同金属材料真空压强要求。

（3）真空加热的保温时间

1）由于工件真空加热时有滞后效应，真空淬火加热保温时间应包括加热滞后时间及组织均匀化时间。加热滞后时间可由经验公式（图表）推算，但本标准推荐实验方法（见本标准附录 D）。

2）真空回火加热保温时间略长于空气炉的加热保温时间。对高合金钢可按工件截面厚度计算回火时间，一般为每 25mm 有效厚度加热 1h 计，最少应不少于 2h。

3）真空退火加热保温时间一般为空气加热炉保温时间的两倍。

4）真空除氢退火加热保温时间应根据截面厚度或直径而定，见本标准表 5。

（4）真空热处理的冷却　真空热处理的冷却方式主要有油冷、气冷（包括气淬、气冷、炉冷）。

1）在真空条件下用油淬火冷却，对淬火油有一定要求：①蒸气压低，不易挥发。要求蒸气压低于 $10^{-2}\sim10^{-4}$Pa，以确保真空度在 $10\sim10^{-1}$Pa 条件下，真空淬火油不会产生明显的挥发。②使用时应充分脱气并排除水分，必要时能加热（20～100°C）。

2）真空淬火时，如油面压强很低，接近油的沸腾状态时会使冷却能力下降，达不到预期的淬硬效果。因而，必须在真空加热后工件入油前后向炉内充填惰性气体，使液面形成一定压强，才能实现有足够淬火硬度和良好光亮度的真空油淬效果。图 2. 3-1 所示为部分钢在 ZZ-1 真空淬火油中的淬火硬度与油面压强的关系。对不同淬透性的钢应选取不同的油面压强。淬火时还应注意的是淬火室充气与淬火入油的先后顺序，对于淬透性差的钢种应采用先充气后入油的方式淬火，具体工艺的选择取决于钢材特性。

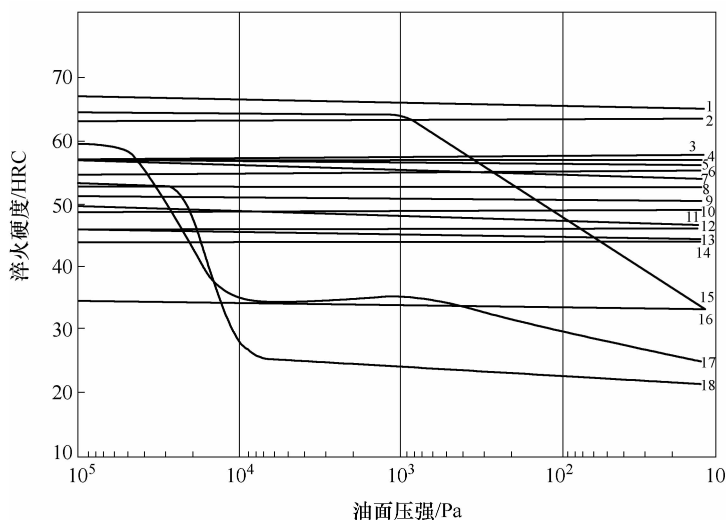


图 2. 3-1　部分钢在 ZZ-1 真空淬火油中的淬火硬度与油面压强的关系

1—Cr12MoV　2—60Si2MnA　3—40CrNi2Si2MoVA　4—40CrMnSiMoVA　5—37CrNi3A　6—40CrA　7—40CrNiMoA　8—38CrMoAlA　9—30CrMnSiNi2A　10—13Cr11Ni2W2MoV　11—30CrMnSiA　12—14Cr17Ni2　13—18Cr2Ni4WA　14—12Cr13　15—65Mn　16—T8A　17—12CrNi3A　18—45

同时，油面压强对淬火畸变也有极大影响。降低油面压强，可使淬火畸变显著减轻。因此，淬火油面压强的选择，应在保证淬火硬度和淬透层的前提下尽可能低。

一般淬火前压强应提高到 2.6×10^4Pa 以上，工艺上常采用向冷却室回充氮气（常用 $4\times10^4\sim6.7\times10^4$Pa，高于 6.7×10^4Pa 对冷却特性影响就不显著了）。淬火前压强接近 0. 1MPa，可得到高的淬火硬度，充氮气有利于安全操作。

3）真空气淬的冷却速度与气体种类、气体压强、流速、炉子结构及装炉状况有关。可供使用的冷却气体有氩、氦、氢、氮。图 2. 3-2 所示为这些常用惰性气体的相对冷却性能，由图可见，氢气的冷却速度最快。但是在 1058°C 以上，钢在氢中容易造成轻微脱碳，对高强度钢有造成氢脆的隐患。同时，氢有爆炸的危险，从安全角度来看，一般不采用氢气冷却。氦的价格太贵，影响应用。氩气冷却速度最差，而且价格也贵，只能作为氮的代用气体使用。氮气资源丰富，成本低，使用安全。在 200 ~ 1200°C，对常用钢材氮呈惰性状态，从而得到广泛的使用。对某些特殊条件下，如对易吸气，并与气体反应的钛锆及其合金，一般采用氩气作为冷却介质。

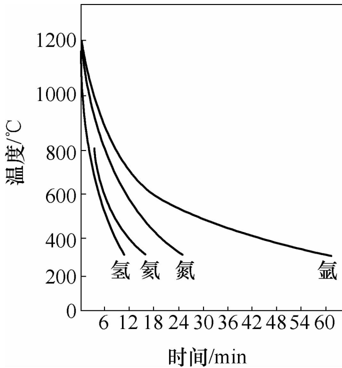


图 2. 3-2　氢、氦、氮、氩的相对冷却性能

为了保证工件表面不氧化，并具有高的光亮度，真空气淬时对氮气的纯度标准有一定的要求，见表 2. 3-1。

在一定设备条件下，气体冷却能力主要与压力有关。本标准规定，根据工艺要求可采用正压气淬或负压气淬。正压气淬时根据材料的淬透性通入 2×10^5 ~ 12×10^5Pa 的高纯氮气（或氩）；负压气淬时通入 7.9×10^4 ~ 9.3×10^4Pa 的高纯氮气（或氩）进行淬火。高速工具钢和高合金模具钢工件宜采用正压气淬方法，钛合金应采用高纯氩气淬火。

表 2. 3-1　氮气纯度标准

处理材料	轴承钢、高速工具钢	高温耐热合金	高温活性金属	半导体材料
氮气纯度(体积分数,%)	99.995 ~ 99.998	99.999	99.9999	99.99999

4）工件回火处理时，回火加热结束后，惰性气体强制快冷。

5）按工艺规定工件应随炉冷却（如退火等）时，冷却过程应保持真空强度，当炉温降至一定温度后才可停止抽真空。

6. 真空热处理的品质控制与检验

真空热处理的品质控制与检验是本标准第 7 章节内容，具体包括外观、畸变、硬度、力学性能、显微组织等方面内容。大部分均为通用技术要求，其中外观“真空腐蚀”是真空热处理件的特殊缺陷。该缺陷的控制实际是工件表面在真空加热条件下合金元素异常挥发所致。

7. 安全卫生、环保及能耗控制

真空热处理过程的安全卫生、环保及能耗控制，要求均按相关的国家标准执行，可见标准中所引用的相关标准。（上海市机械制造工艺研究所有限公司任颂赞供稿）

三、标准内容（GB/T 22561—2008）

真空热处理

1　范围

本标准规定了金属材料在真空状态下热处理的设备、工艺材料、热处理工艺及技术要求、品质控制及检验、能源消耗、安全卫生及要求等。

本标准适用于结构钢、工具钢、模具钢、不锈钢、耐热钢、钛合金、高温合金、难熔金属合金、精密合金等金属材料的真空热处理，包括真空加热淬火、真空回火、真空退火、真空固溶处理、真空时效等工艺。本标准不适用于真空渗碳或真空渗氮等工艺。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 3095 环境空气质量标准

GB/T 7232 金属热处理工艺术语

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1 电热设备的试验方法 第1部分：通用部分（GB/T 10066.1—2004，IEC 60398：1999，MOD）

GB/T 10067.1 电热装置基本技术条件 第1部分：通用部分

GB/T 10067.4 电热装置基本技术条件 第4部分：间接电阻炉

GB/T 12603 金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 13324 热处理设备术语

GB 15735 金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 17358 热处理生产电耗计算和测定方法

GB/T 19944 热处理生产燃烧消耗计算和测定方法

JB/T 6050 钢铁热处理零件硬度测试通则

JB/T 6955 热处理常用淬火介质技术要求

JB/T 7530 热处理用氩气、氮气、氢气一般技术条件

JB/T 8195.3 间接电阻炉 ZR系列真空热处理和钎焊炉

JB/T 8195.4 间接电阻炉 ZC系列真空淬火炉

JB/T 10175 热处理质量控制要求

YS/T 274 氧化铝

3 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324 中确立的及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 真空压强 vacuum pressure

真空状态下，用稀薄气体的压强来表示真空程度，单位为 Pa。

3.2 脱气 outgassing

在真空条件下，材料自然放排出气体或蒸气。

3.3 加热滞后时间 lag time of heating

真空加热条件下，真空炉内热电偶到达温度时间与工件心部热电偶到达同一温度的时间差，一般由试验测定，由此可确定真空加热的保温时间，应根据经验公式估算。

3.4 真空腐蚀 vacuum corrosion

因真空条件下加热导致因合金表面部分元素挥发造成的表面粗糙或极亮且密布的小坑。

3.5 分压 partial pressure

真空气氛中任何单一气体组分的实际压强。在真空热处理中，通常是指向炉内回充惰性气体的气体压强。

4 工艺分类代号

真空热处理的工艺分类及代号应符合 GB/T 12603 的规定（见表1）。

表 1　真空热处理分类及代号

工艺分类	代　　号	工艺分类	代　　号
真空热处理	500-02	真空淬火和回火	514-02
真空退火	511-02	真空固溶处理	517-02
真空加热淬火	513-02	真空固溶处理＋时效	518-02

5　设备及工艺材料的要求

5.1　真空加热设备

5.1.1　真空加热炉应满足热处理工艺规范，技术参数应符合 GB/T 10067.1、GB/T 10067.4 及 JB/T 8195.3、JB/T 8195.4 有关规定。加热室内结构材料在热处理中不应与工件或介质气体发生不良反应。

5.1.2　真空炉的空炉损耗功率和冷却水耗量及气、油等辅料消耗量均应符合节能要求。

5.1.3　真空系统应带有充分的抽气能力以维持相关热处理工艺要求的真空水平，应有效控制惰性气体流量以保持特定分压。

5.1.4　在空炉并经干燥、除气的情况下，不同工作容积的真空炉，应在表 2 规定时间内抽到规定的真空工作压强。

表 2　空炉抽到规定真空工作压强时间

真空炉工作容积/m^3	抽到规定真空工作压强时间/min
>0.5~1.0	≤20
>1.0~5.0	≤40
>5.0	≤60

5.1.5　真空炉应配备有真空压强指示、记录及自动控制装置。不同的真空压强应配置不同的真空检测仪。真空检测仪的校验按计量部门要求。

5.1.6　真空炉在冷态空炉充分干燥后的压升率应小于 0.67Pa/h；工作态时，常用金属材料真空热处理允许的最大压升率参考附录 A。压升率的检验均可按 GB/T 10066.1 的规定执行。

5.1.7　真空炉的温度测量与控制系统要求应符合 JB/T 10175 的有关规定。

5.1.8　真空炉的有效加热区内的温度允许偏差见表 3。真空炉的炉温均匀度的检验方法应符合 GB/T 9452 的规定。

表 3　真空炉有效加热区内温度允许偏差

热处理种类	有效加热区温度允许偏差/°C	控温允许偏差/°C	热处理种类	有效加热区温度允许偏差/°C	控温允许偏差/°C
淬火、回火	±5	±1.5	固溶	±10	±5
退火	±10	±5	时效	±5	±1.5

5.1.9　为正确控制工件的温度，可使用一个或多个热电偶。热电偶应确保与工件接触，热电偶若与工件材料发生不良反应，则应加护套。若热电偶插入工件的孔内，则插入深度应达热电偶直径 10 倍以上，或与孔底紧密接触。

5.1.10　真空炉的加热电极在通水冷却情况下，对地绝缘电阻应大于 1kΩ。

5.1.11　真空炉冷却水进口水压应大于 0.25MPa，流量应能调节，并配有断水报警保护装置。冷却

水进水口水温为 5～35°C，出水口的温升不应超过 20°C（气淬时允许短时超过），快速冷却时冷却水压应大于 0.3MPa。真空炉炉壳的表面温度不得超过室温 30°C。

5.1.12 真空气淬炉应配有足够体积的气体储槽，并带有快速充气装置、风扇搅拌和热交换装置。应有相应的减压阀和压力表，能准确地指示和调节冷却气体压强。

5.1.13 真空回火炉应带有气体循环和快冷装置。

5.2 冷却装置

5.2.1 真空炉应根据需要配置容积足够大的油槽、水槽、贮气槽，以保证连续淬火条件下有足够的冷却能力。

5.2.2 油槽、水槽均应配有加热、冷却、控温、超温报警及搅拌装置，温控仪表的允许偏差应 ≤ ±5°C。

5.3 冷却介质

5.3.1 冷却用气的纯度应能满足相应工艺要求。按 JB/T 7530 的规定，合金钢一般采用 99.996% 纯度的氮气；高温合金一般采用 99.999% 纯度的氩气；钛合金应采用 99.999% 纯度的氩气。

5.3.2 淬火用油应满足工件真空淬火后的硬度及光亮度的要求，应符合 JB/T 6955 中相关规定。

6 工艺过程及工艺要求

6.1 热处理前的准备

6.1.1 设备

应对热处理设备进行规范性检查，保证处于正常工作状态。对需处理钛合金的真空炉，若先前经非钛合金处理，应采用高温加热等方法清洁炉膛。

6.1.2 工件及夹具

6.1.2.1 入炉工件及工装夹具应进行清洗，不应有锈斑，不应有对工件、炉膛产生有害影响的污物、低熔点涂层、镀层等。

6.1.2.2 夹具的选择应防止与工件在工艺过程中发生共晶反应或粘合，材料在真空下可以相互接触（不粘结）的最高允许温度见附录 B。若会发生反应，可采用 Al_2O_3 粉隔离。Al_2O_3 的技术要求应符合 YS/T 274 的规定。

6.1.2.3 工件和夹具在装炉前应进行清洁和烘干。

6.2 装炉

工件应置于炉膛的有效加热区内，并应使工件加热均匀。

6.3 加热

6.3.1 工件入炉后，加热室真空压强小于 6.67Pa 时方可加热升温。升温过程中应注意工件脱气，若因脱气使真空压强高于临界值时，应停止加热，并相应调节升温速度。

6.3.2 根据工件的材料及工艺要求，确定并控制加热温度和加热时的真空压强，该真空压强的控制可回充氮气（或氩）分压调节而实施。部分参数见附录 C。

6.3.3 工件达到设定加热温度之前应进行分段预热，分段方法见表 4。

表 4 工件加热分段预热方法

设定加热温度/°C	形状	分段预热/°C
<1000		500～600（一次）
1000～1100	简单	800～850（一次）
	复杂	600～650，800～850（各一次）
>1100～1300	简单	800～850（一次）
	复杂	500～650，800～850（各一次或多次）

6.3.4　真空回火时，当炉内达一定的真空压强（一般为≤0.133Pa）时，向炉内通入高纯氮气到 $6.6\times10^4\sim2\times10^5$Pa，并用风扇循环，保持此炉压直至结束。

6.3.5　工件真空退火时，应避免因真空压强过低而产生表面真空腐蚀，真空工作压强应满足不同金属材料真空压强要求。

6.4　真空加热的保温时间

6.4.1　确定工件的真空加热保温时间，应考虑工件真空加热时的滞后效应。加热滞后时间的测定方法见附录 D。

6.4.2　真空淬火加热保温时间应包括加热滞后时间及组织均匀化时间。

6.4.3　真空回火加热保温时间略长于空气炉的加热保温时间。对高合金钢可按工件截面厚度计算回火时间，一般为每 25mm 有效厚度加热 1h 计，最少应不少于 2h。

6.4.4　真空退火加热保温时间一般为空气加热炉保温时间的两倍。

6.4.5　真空除氢退火加热保温时间应根据截面厚度或直径而定，见表 5。

表 5　除氢退火的保温时间

最大截面厚度或直径/mm	保温时间/h
≤20	1~2
>20~50	>2~3
>50	>3

6.5　冷却

6.5.1　油淬

真空淬火油在淬火前应充分脱气并排除水分，必要时适当加热，使油温控制在 20~100℃范围内。为控制油面压强，淬火时应充气（高纯氮气或氩气），并控制在 5×10^4Pa 左右。淬火时油槽内应进行搅拌。

6.5.2　气淬

根据工艺要求可采用正压气淬或负压气淬。正压气淬时根据材料的淬透性通入 $2\times10^5\sim12\times10^5$Pa 的高纯氮气（或氩）；负压气淬时通入 $7.9\times10^4\sim9.3\times10^4$Pa 的高纯氮气（或氩）进行淬火。高速工具钢和高合金模具钢工件宜采用正压气淬方法，钛合金应采用高纯氩气淬火。

6.5.3　气冷

工件回火处理时，回火加热结束后，应采用惰性气体强制快冷。

6.5.4　炉冷

按工艺规定应随炉冷却（如退火等）时，冷却过程应保持真空压强，当炉温降至一定温度后方可停止抽真空。

6.6　出炉及清理

工件应冷态（≤65℃）出炉。油淬工件出炉后应进行除油清理。

7　品质控制与检验

7.1　外观

7.1.1　真空热处理后工件用目视进行检查，工件表面应光亮、无损伤。

7.1.2　真空热处理后的工件表面一般不允许发生真空腐蚀。

7.2　畸变

7.2.1　真空热处理后工件的畸变量应在技术规定范围内。检测方法按计量规范的规定。

7.2.2 工件畸变量超过技术规定时，应在后续工序中采用正确方法矫正。

7.3 硬度

7.3.1 工件真空热处理后的硬度应符合该工件的技术要求。

7.3.2 硬度测定的部位按工艺规定，测试方法按 JB/T 6050 执行。

7.4 力学性能

工件真空热处理后有力学性能要求的，应符合相关技术要求，检测方法按相关的国家标准或行业标准执行。

7.5 显微组织

工件真空热处理后有显微组织要求的，应符合相关技术要求，检测方法按 GB/T 13298 执行。

8 安全卫生与环保要求

8.1 真空热处理过程中安全卫生要求应符合 GB 15735 的规定。

8.2 真空热处理过程中气体的排放应符合 GB 3095 的要求，必要时应对排出气体进行净化处理。

9 能源消耗要求

真空热处理工艺的能源消耗定额应符合 GB/T 17358、GB/T 19944 的有关规定。

10 记录及产品报告单

10.1 工件在真空热处理过程中的相关技术参数、检测数据等应有完整记录，记录的保存年限应符合相关的管理要求。

10.2 根据要求可按每批或每炉开具报告单。

10.3 产品报告单内容：

a）批号或炉号；

b）工艺类型及工艺代号；

c）工件的名称和图号；

d）工件用材料牌号；

e）单件质量及数量；

f）加工单位名称；

g）品质检测结果；

h）操作者姓名或代号；

i）品质检验员姓名或代号；

j）报告日期。

附　录　A

（资料性附录）

真空热处理时各种金属材料最大允许压升率

表 A.1 各种金属材料真空热处理时的最大允许压升率

材　料	最大允许压升率/Pa/h（不大于）	材　料	最大允许压升率/Pa/h（不大于）
合金结构钢	6.65	沉淀硬化不锈钢	6.65
铁素体不锈钢（Cr 质量分数：12%～17%）	6.65	镍合金	2.66
马氏体不锈钢	6.65	钴合金	2.66
奥氏体不锈钢	6.65	冷作模具钢	6.65

（续）

材　　料	最大允许压升率/Pa/h（不大于）	材　　料	最大允许压升率/Pa/h（不大于）
耐热模具钢	6.65	铌	0.665
Mo 系列高速工具钢	6.65	钽	0.665
W 系列高速工具钢	6.65	钛及钛合金	1.33
钨、钼	2.26	铜合金	6.65

附　录　B

（资料性附录）

材料在真空下可以相互接触（不粘结）的最高允许温度

表 B.1　材料在真空下可以相互接触（不粘结）的最高允许温度　　（单位：°C）

材料	W	Mo	Al_2O_3	BeO	MgO	SiO_2	ThO_2	ZrO_2	Ta	Ti	Ni①	Fe①	C
W	2540	1930	1825	1760	1370	1370	2205	1595			1260	1205	1480
Mo		1930	1825	1760	1370	1370	1900	1900	1930	1260	1260	1205	1480
Al_2O_3			1825						1825				
MgO				1760	1370		1760	1760	1595				1760
MgO					1370		1370	1370					1370
SiO_2						1370							1370
ThO_2							1980	2205	1900				1980
ZrO_2								2040	1595				1595
Ta									2340	1260	1260	1205	1930
Ti										1260	930	1040	1260
Ni											1260	1205	1260
Fe												1205	1095
C													2205

①　同样适用于 Ni、Fe、Cr 合金。

附　录　C

（资料性附录）

金属材料真空热处理参考数据

表 C.1　金属材料真空热处理温度和推荐真空压强

金 属 材 料	退火温度范围/°C	推荐真空压强/Pa
铜丝	250～500	$(2.6 \sim 6.6) \times 10^{2}$
钼	1000～1100	$1.33 \times (10^{-4} \sim 10^{-1})$
钽	1000～1100	$1.33 \times (10^{-4} \sim 10^{-1})$
钛	700～750	$1.33 \times (10^{-2} \sim 1)$
锆	900～1000	$1.33 \times (10^{-2} \sim 1)$
钨	≥1400	$1.33 \times (10^{-2} \sim 10^{-1})$
铌和铌合金	1300～1400	$1.33 \times (10^{-4} \sim 10^{-3})$
不锈钢（非稳定型）	1050～1150	$1.33 \times (10^{-1} \sim 1)$
不锈钢（Ti 或 Nb 稳定型）	1050～1150	$1.33 \times (10^{-3} \sim 10^{-2}$

表 C.2　常用钢材的真空热处理温度、真空压强和冷却介质

钢　号	预　热			淬　火			回　火		
	一次预热温度/°C	二次预热温度/°C	真空压强/Pa	加热温度/°C	真空压强/Pa	冷却介质	加热温度/°C	气体压强/Pa	冷却介质
W6Mo5Cr4V2	600~650	850~900	$1 \sim 10^{-1}$	1200~1220	50~100 (N_2 分压)	惰性气体	540~580	$(1.2 \sim 2.0) \times 10^5$	惰性气体
W6Mo5Cr4V2Al	600~650	850~900	$1 \sim 10^{-1}$	1200~1220			540~560		
W12Cr4V4Mo	600~650	850~900	$1 \sim 10^{-1}$	1220~1240			550~580		
W2Mo9Cr4VCo8	600~650	850~900	$1 \sim 10^{-1}$	1180~1200			540~580		
Cr12MoV	500~550	800~850	$1 \sim 10^{-1}$	1000~1050	10~1	油或惰性气体	170~250	空气炉	空气
Cr12	500~550	800~850	$1 \sim 10^{-1}$	950~980			180~200		
3Cr2W8V	480~520	800~850	$1 \sim 10^{-1}$	1050~1100			560~580	$(1.2 \sim 2.0) \times 10^5$	惰性气体
							600~640		
4Cr5MoSiV(H11)	600~650	800~850	$1 \sim 10^{-1}$	1000~1030	50~100 (N_2 分压)		530~560		
4Cr5MoSiV1(H13)	600~650	800~850	$1 \sim 10^{-1}$	1020~1030			540~560		
GCr15	520~580	—	10^{-1}	830~850	$1 \sim 10^{-1}$	油	150~160	空气炉	油
GCr15SiMn	520~580	—	$1 \sim 10^{-1}$	820~840	10~1		150~160		
60Si2MnVA	500~550	—	$1 \sim 10^{-1}$	860~800			410~460	$(1.2 \sim 2.0) \times 10^5$	惰性气体
60Si2CrVA	500~550	—	$1 \sim 10^{-1}$	850~870	1		430~480		
50CrVA	500~550	—	10^{-1}	850~870	$1 \sim 10^{-1}$		470~420		
40Cr13	800~850	—	$1 \sim 10^{-1}$	1050~1100	1	油或惰性气体	200~300	空气炉	空气
95Cr18	800~850	—	$1 \sim 10^{-1}$	1010~1050	$1 \sim 10^{-1}$		200~300		
05Cr17Ni4Cu4Nb	800~850	—	$1 \sim 10^{-1}$	1030~1050	1		480~630	$(1.2 \sim 2.0) \times 10^5$	惰性气体

注：高速钢和高合金模具钢用于冷作模具时淬火加热温度也可采用低于淬火加热的下限温度。

附　录　D
（资料性附录）
加热滞后时间的测定方法

D.1　试样材料和几何尺寸

选取典型尺寸的试样进行加热滞后时间的测定。试样的材料和表面状态应与实际工件相同。试样的形状、尺寸应符合图 D.1 的规定。

D.2　测试温度与真空工作压强

加热滞后时间的测定至少应在三个温度下进行：即最高加热温度和二次预热温度。升温方式与加热功率等应与实际生产条件相同。

加热滞后时间的测定应在加热室的真空工作压强 6.7×10^{-2}Pa 的条件下进行。

D.3　测试装炉量与装炉方式

根据生产需要测定常用装载量条件下的加热滞后时间。装炉方式应接近实际生产情况。

D.4　热电偶的布置与数量

将 2 件热电偶分别插入每个试样的表面和心部孔中，并与试件孔底紧密接触，并以此为依据确定各尺寸工件的加热滞后时间。

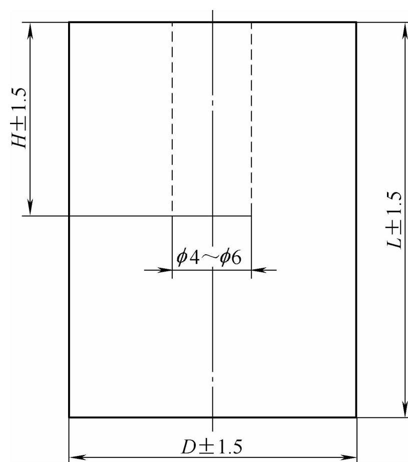


图 D.1　测定加热滞后时间的试样图

注：1. $L \geqslant 2D$；$H = D \sim 0.5L$；D—圆形或方（矩）形试样的直径或厚度。
2. 热电偶孔的直径应根据热电偶外径确定。

D.5　测试程序与记录

用温度-时间记录仪记录各热电偶的温度与测试时间。测试记录上应注明材料牌号、试样尺寸、装炉量与装炉方式、试样在炉中的位置、试样的表面状态、设定温度、升温方式、加热功率及炉子型号等内容。

D.6　测试结果的应用

测试结果用于确定工件在真空炉中加热的保温时间。如果已有测试结果不能代表生产工件的厚度、加热温度、装炉量与装炉方式，则选用与其相近的较厚厚度、较高加热温度、较大装炉量与装炉方式的测试结果。

第四节　钢铁件的感应淬火回火

一、概论

感应热处理是热处理的重要工艺之一。它具有加热速度快，节约能源、生产率高，不污染环境，易于实现机械化和自动化，并能布置在生产线上与加工工序同步生产，少无氧化等特点，对提高零件耐磨性和强度有着重要影响。在汽车、农业机械、冶金、机床、工具等行业得到了广泛应用。近几年，国内外感应加热技术在提高产品质量、发挥材料潜力、降低生产成本、改善设备性能、增加淬火装置的容量、发展淬火机床、大量采用穿透感应淬火工艺、提高机械化和自动化程度等方面都有很大进步。感应热处理符合国家大力提倡的高效、节能、环保的热处理技术，符合现代工业生产的 3S 和 3C 标准（Sure 可靠、Safe 安全、Saving 节约及 Cool 低温、Clean 清洁、Clam 安静），它与可控气氛热处理、真空热处理等少无氧化技术已成为热处理技术的发展主流。随着我国经济的高速发展和对环境保护的高度重视，在全球性能源紧张的背景下，节能、环保是汽车制造业要面对的两个非常重要的现实问题。作为一种高效、污染小的加热方式，感应加热技术在汽车制造领域将会得到越来越广泛的应用，因此该标准的制定将对我国热处理技术进步起到很大的推动作用。

感应加热是利用在金属中产生的感应电流直接实现工件的加热。该加热方式是一种非接触式加热，其电热转换效率主要取决于金属材料的磁导率和感应器（变压器的一次绕组）与工件（变压器的二次绕组）的耦合程度，即金属的磁导率越高，感应器与工件的耦合越紧，热转换效率越高。而普通的炉中加热均需要有加热源，通过加热源的辐射、热量在加热介质中的对流，以及被加热体的热传导三个过程实现金属工件的加热，其加热效率是加热源的能量转换效率、热量的对流效率和热量在被加热体中的传导效率的综合效率。相比之下，感应加热具有如下优点：

1）没有对流和传导的加热过程，在工件的内部直接加热，加热速度快。

2）减少了工件在加热过程中的氧化和脱碳。

3）节约能源，不需要炉中加热时所需的加热炉的预热和升温，可随时开始和停止加热，在非工作周期不需要保持加热炉的温度。

4）加热时间短，生产率高，有效地减少了工艺成本。

5）可实现零件的局部加热。

6）设备的机械化、自动化程度高，占地面积少，可实现与自动化生产线的共线生产。

7）工作环境清洁、安全、噪声小，属于环境友好型生产方式。

8）设备的故障率低，维护、维修、保养成本低。

感应加热工艺是感应加热技术水平的主要体现，是技术发展的基础，先进的感应加热工艺技术可以有效地发挥感应加热的特点，实现高效、节能的局部热处理。本标准是一个提供指导生产，保证质量的基本规定文件，期望能够对推动热处理的技术进步发挥积极的促进作用。

本标准在 JB/T 9201—1999 基础上修订，修订时采用了 JIS B 6912：2002。本标准的历次版本是 ZB J 36 005—1988、JB/T 9201—1999。

二、标准应用说明

1. 标准名称

本标准修改采用了 JIS B 6912：2002《钢铁件感应淬火回火处理》，按照我国企业的普遍叫法，去掉了“处理”两字，标准名称为《钢铁件的感应淬火回火》。

2. 范围

本标准提出了钢铁件表面感应淬火回火质量控制、安全卫生及劳动保护的基本要求，适用于钢铁件表面感应淬火及随后回火的热处理工艺。取消原 JB/T 9201—1999 中将电源频率规定在 50Hz ~ 1000kHz。日本 JIS B 6912：2002 是以中高频感应淬火回火为其全部内容，本标准在修订时认为虽然各种频率的淬火回火有差异，但其主要方法及包含的内容类似，所以包括了所有适于表面感应淬火回火处理的工件。

3. 工件用材料及技术要求

JB/T 9201—1999 中对于工件的感应淬火工艺性进行了特殊说明：工件的材质、技术要求（硬度、硬化层深度、硬化区范围、处理前后的金相组织、变形量等）与处理部位的几何形状（外形、直径变化、圆角大小、壁厚、孔穴、键槽等），均应适合感应淬火的工艺特点。日本 JIS B 6912：2002 中是这样描述待处理工件的：进行高频感应淬火回火处理的对象包括部件与材料，其中部件指的是机械器件、夹具、装置及其组成部分，以及接近完工的钢铁制品；材料指的是通过轧制、铸造、锻造等加工的钢铁材料及其半成品。本标准在修订过程中起草工作组认为，由于感应淬火回火工艺的应用已很普遍，适用范围也非常广泛，可以不用特殊说明。凡用于感应淬火回火的工件或材料只要是符合供需双方技术要求，均可以不加特殊限制，因此对原 JB/T 9201—1999 版标准的工件钢种中进行了扩充，收集了优质碳素结构钢（GB/T 699）、保证淬透性结构钢（GB/T 5216）、合金

结构钢（GB/T 3077）、弹簧钢（GB/T 1222）、高碳铬轴承钢（GB/T 18254）、碳素工具钢（GB/T 1298）、合金工具钢（GB/T 1299）、锻钢冷轧工作辊（GB/T 13314）、锻造合金钢支承辊用钢（JB/T 4120）、不锈钢棒（GB/T 1220）、耐热钢棒（GB/T 1221）、中空钢（GB/T 1304）、一般工程用铸造碳钢（GB/T 11352）、灰铸铁（GB/T 9439）、珠光体可锻铸铁（GB/T 9440）、球墨铸铁（GB/T 1348）、粉末冶金铁基结构材料。本标准中列出了一些未经过验证的材料，这在以后修订时应予慎重考虑。

提出待处理工件或材料的技术要求只要符合表面硬度、硬化层深度、硬化区范围、处理前后的金相组织、畸变量及外观要求均应适合感应淬火。

为了企业在制订感应淬火回火工艺更加方便，本标准应用中仍将上一版本对一些钢种的特殊性说明进行保留，供大家借鉴。

（1）工件材料

1）结构钢。日本标准将 25 钢以上全部纳入可感应淬火钢，1985 年又将钢 S20C、S22C 纳入，但 $w(C)$同为 0.20% 和 0.22% 而性能较优的合金钢反而未纳入，不知何故。所以本标准仍以 $w(C)=0.25\%$ 为最低值，$w(C)$低于 0.25% 的仅保留了煤机链条常用的 20MnV。

2）保证淬透性结构钢应按 GB/T 5216，不锈钢铸件应按 GB/T 2100 选择。

3）我国轧辊感应淬火质量已达到国际先进水平，故将轧辊用钢纳入标准，这也是日本标准未包括的内容。

4）其他品种，据英国感应加热手册介绍，感应热处理对大部分固溶速度快的钢都可以适用，这些钢几乎包括所有可热处理的钢。日本标准不列为适用的是高速钢、热模具钢、大部分冷模具钢、小部分量具刃具钢、少数弹簧钢、除 20Cr13 及 30Cr13 以外的不锈钢、除四种马氏体阀门钢以外的耐热钢、渗碳钢及铁素体含量较高的铸铁等。看来，日本标准区分是否适用的基本原则是固溶速度快慢（高合金钢固溶慢）和需用量大小。例如，耐热钢中的 80Cr20Si2Ni 虽为高合金钢，但因其用量较大而予纳入。而有些弹簧钢虽为低合金钢，但由于是以制造钢丝为主而不用于感应淬火。又如热模具钢中的 5CrMnMo 和 5CrNiMo，与日本标准未采用的 SKT3 和 SKT4 相近，本稿原拟排除，但我国确有用户认为使用效果良好，因此未仿效日本标准，而将其写入本标准中。我国渗碳钢感应淬火用户也有此愿望，我们考虑似无矛盾，但将出现“跨标准”问题，即感应淬火工艺部分按照本标准，材料、渗碳工艺、回火、检验等部分仍按 JB/T 3999《钢的渗碳与碳氮共渗淬火回火处理》的要求。

5）本标准未列入的材料并非不能使用，例如 Cr12Mo 滚丝模、95Cr18 棱形轴、俄罗斯高速钢 P6 锯条及 P9 钻头均有资料介绍采用感应淬火成功之例。这些材料均未纳入标准，这是因为日本标准未曾列入，我国应用也很少，待日后成熟再补上。

为了表明未纳入本标准的材料并非都不能采用，在标准中表 1 前用“一般使用”一语。由此，一般不用或很少使用的材料就不必写入表中，如 30Mn2MoV、35CrMoV、25Cr2MoVA、25Cr2Mo1VA、30CrNi3、37CrNi3、45CrNiMoVA、25Cr2Ni4WA、9SiCr、8MnSi、Cr2、9Cr2、4CrW2Si、5CrW2Si 和 6CrW2Si。表中没有的材料仍可自由选用，说不定某产品最适用的材料恰好不在表里，日本标准则不同，可用的材料大概都在标准的表中了。

随着自动控温、淬火冷却介质等方面的发展，适用的材料定会逐渐增多。

6）JIS 6912 中增添了粉末冶金材料，这在我国工厂尚未见有感应淬火的。在 JB/T 3593 中，FTG30 为低碳渗碳淬火钢，FTG60、FTG60Cu3Mo 为中碳钢，FTG90 为高碳钢。

7）关于标准中表 1 注 3 必要时可提出特殊要求，在此做一说明。

所谓特殊要求是指标准牌号钢铁技术要求以外的技术要求。例如，一汽凸轮轴使用 45 钢，由

于中频感应淬火时凸轮尖部容易因层深超过某一数值而开裂掉角，所以向钢厂订货时要求供给碳含量窄[w(C)为0.42%~0.47%]的精选45钢。变速器第二轴使用40Cr，由于中频感应淬火时花键易裂而要求提供碳含量窄[w(C)为0.37%~0.42%]的精选40Cr。

据有的资料介绍，利用感应淬火快速加热得到细晶粒马氏体，可使机械零件具有很高的综合力学性能。例如，正火亚共析钢炉中加热淬火奥氏体晶粒一般为7~8级，而用感应淬火时，加热速度为10~300℃/s，奥氏体晶粒可细达11~12级，其抗拉强度R_m可以达到2200~2500MPa，断面收缩率Z可达15%，接触疲劳强度也有所提高。在此基础上，如果熔炼时加铌、钛或铝和钒细化晶粒，感应淬火时奥氏体晶粒可细达14~15级，这种超细晶粒可使R_m高达2600~2900MPa，Z高达20%~30%，苏联专家舍别里亚柯夫斯基1986年来华讲学时，特别强调超细晶粒低淬透性钢的优点，它可以利用感应透热后表层淬硬，使表层残余应力高达500~700MPa，疲劳强度很高，只凭一道淬火工序，就可得到表面硬度≥60HRC，心部硬度为25~40HRC（R_m=1000~1200MPa），高强度和高韧性兼收，可以解决重要零件如汽车后桥和变速器的重载齿轮、十字轴、火车轴承、半轴弹簧等的寿命问题，关键是熔炼时细化晶粒。另一方面，德国DIN标准提到，表层淬火用钢宜选淬裂敏感性低的细晶粒钢。由此可知，细晶粒很可能是对感应淬火材料的一种特殊要求。

日本山阳特殊制钢厂开发的MGH钢采用真空脱氧，硫、磷含量低，非金属夹杂物少，淬裂倾向低，可以代替高级钢材。该厂还改进了淬透性管理，用理想临界直径D_I值代替端淬值，可以更严格地通过成分微调来控制碳钢的淬透性，原因是碳钢端淬曲线在J_3-J_5附近迅速下降，测量位置的少许变动就会带来硬度值相当大的差别。从这一情况可以看出，钢的纯净度可能是一种特殊要求。而当某个零件需要严控其硬化层深度或硬度波动范围时，淬透性就可能是一项特殊要求。MGH钢疲劳强度高，适于制造服役条件苛刻的零件，可供大家借鉴。

某些兵器对钢材的纵向、横向力学性能都有确定的要求，横向性能就是其特殊要求。

另外，钢材表面脱碳层深度一般不允许超过钢材直径的1%，如果用户要求更严，也必须提出特殊要求。

根据零件服役的需要，为了达到某种使用性能的指标，估计还会产生各种特殊要求；有时为了方便加工，也可能提出某种特殊要求。

（2）工件的原始资料。标准中表2中材料牌号和试验数据要求做到准确无误有据可查。如果材料管理严格没有混淆，就可能避免大批废品和事后繁杂的处理工作。许多报废原因也可以从材料的原始记录中查到线索。例如铸铁，不一定每炉都能得到相同的金相组织，而由于产品的性能与金相组织中石墨的大小和分布有关，感应淬火的硬度又与金相组织中珠光体的含量和粗细有关，所以铸铁的金相组织比化学成分有时更为重要，在管理上应做到将每批铸铁的熔炼炉号和金相组织提供给感应淬火工艺，以便根据金相组织采取不同的工艺参数（如加热时间），有时从金相组织中发现过多的磷化三铁相，就能预知这炉铸铁脆性高、容易裂。有的工件容易淬裂，如凸轮轴、变速器第二轴，材料管理部门知道某批钢材的碳含量偏高，就预先通知感应淬火工序采取措施和缩短加热时间，冷却时间和避免淬火水温过低等以防报废。反之，当预知碳含量偏低时，可加长加热时间，加强冷却，以保证硬度及硬化层深度。有时从光谱分析得知某批钢材含有微量钼元素有淬裂危险，如果没有把握的话就可移作他用。

根据工具钢热处理经验，非金属夹杂物固然不可忽视，碳化物大小和分布的影响更为重要，日本标准中只有非金属夹杂物，我们估计这是不够的，所以在标准表2中增添了碳化物一项。

标准表2中其他各项和标准表3中各项同样都包含着各种质量因素。例如，有的工件预备热处理有调质工序，如果遗漏了调质或调质硬度不符合规定，都会产生废品。有时调质引起表面脱碳或贫碳，又可能使感应淬火达不到硬度要求。有的花键轴采用冷轧成形，感应淬火后发现键齿变形不

能通过卡规，花费几个月时间才知道感应淬火前键齿就已难以通过卡规。冷轧的加工应力又非常大，感应淬火时难免有少许畸变，问题还是出在冷轧成形时。国外有的厂为避免感应淬火前产生应力，正火后采用悬挂运输，而不是堆放运输，其绝大多数锻坯根本不需要校直，即使有少量需要校直，也是采用热校直，使校直产生的应力在高温消失。避免淬火畸变的另一个例子，是北京北方车辆厂的一种花键轴套，由于是内花键，加热效率低，轴套壁又薄，这两种原因使它必然要热透。但是该厂在感应淬火前将轴套进行一次高温回火消除其内应力，变形问题就解决了。以上的例子表明，工件在感应淬火前的工序与淬火后的质量密切相关，需要很好安排。安排好后，各道工序都要严格把关不出问题，但工序之间还要互相配合。例如，有时淬火前的机加工工序发现材料切屑异常，立即通知淬火工序调整工艺，可以及时消除隐患。1971 年的日本标准中“切削方法及其条件”一项的备注里有一条参考：进给量深的重切削往往是淬火开裂的原因；“淬火部位表面粗糙度”一项的备注里也有一条参考：比 35s（相当于 $Ra\approx12.5\mu m$）粗糙往往是产生软点和淬裂的原因。虽然 1985 年的日本标准中这两条参考都被撤销了，但是“切削方法”和“表面粗糙度”仍然保留了下来，所以毫无疑问，切削方法不当和表面粗糙度超过某种程度都会造成感应淬火的废品。

综上所述可以看出，标准中表 2 和表 3 意图列出感应淬火前与质量有关的所有环节，希望能据此做好质量管理工作。

4. 感应淬火设备

1）本标准 6.1 节感应加热电源的内容与日本标准完全一致，即要求高中频各种电源均能自动控制其输出电压在 ±2.5%、输出功率在 ±5% 范围内。

2）本标准第 6.2 节的数据是供国内设计感应淬火机床使用的，其精度有的比日本标准还高，看来要经过一番努力才能达到。淬火机床的数据较多，本标准所录数据不过其中通用机床的部分精度值，这和日本标准的写法一样。淬火机床的种类较多，除通用机床外还有各种专用机床，如曲轴、凸轮轴、半轴、气阀座等，其中有的可能在国外还包含着专利，在技术上和精度上都有特殊性，远非上述数据所能概括。有专利的如曲轴圆角淬火、半轴整体淬火时限制其畸变的滚子等，淬火机床与传感器也有密切关系，国外开发的某些自动机床就需要传感器控制机床动作。另外，设计工作也有提高水平的问题，一些进口机床显得既实用又美观而且轻巧。因此，仅仅从精度数值上努力是不够的，还有许多因素如工艺、配套件、设计等水平，都在影响着机床的技术水平。

3）本标准 6.1.2 条中直接采用了日本 2002 年标准的数据，比以往标准高得多。这是由于我国时间继电器采用集成电路组装的周波计数器条件已经具备，而机床采用以石英晶体控时的 PC 也日渐增多，所以虽然指标高一些，还是可以实现的。

4）本标准第 6.4.1 条表 6 将回火炉允许温度偏差分为 ±10℃、±15℃、±20℃ 三档，比日本标准 ±15℃、±20℃ 两档更细，又比日本标准多加了重要件与一般件的区分。这完全是因为本标准不限于表层淬火，不得不增加按调质件标准来写。表层淬火件按日本标准分两档就可以了，希望大家按照自己具体情况选用合适的档次，不一定非要用 ±10℃ 这一档。至于某些硬度范围特别狭窄的工件，如果 ±10℃ 还嫌太宽，可自行做出更严的规定，这就是为什么在允许温度偏差之后加（不大于）的目的。

5. 工艺方法

日本标准中将工艺实施过程称处理方法，处理方法分两部分：第一部分是处理方法的确定，包括感应器、工件的装夹、工件的加热和冷却、工件回火时的加热和冷却、矫直五项；第二部分是做必要的记录。本标准则按先后顺序分九个部分：工件的验收，淬火方式的确定，工艺装备的设计、

制造和使用，工件的装夹，淬火工艺规范的制定，淬火冷却介质，回火工艺规范的制定，附属工序和记录。目的是更利于促进质量管理。列出的这些环节需由各企业根据具体情况取舍及落实责任。有些技术性较强的环节还需由企业领导给予创造条件，例如二汽特设一个小组试制较复杂的感应器并兼管制造和修理，使曲轴、半轴的生产经常处于正常状态。正像德国 AEG 公司那样，有几名多面手技师，不但擅长钳工和焊接，能制作复杂的感应器，还能包揽工艺试验和金相检验等一整套工作，效率特高，得心应手。

为了确定处理方式，设计工艺装备，制定淬火工艺规范，选择淬火冷却介质等，对无把握的工件常需进行工艺试验，甚至大批量试生产考验和产品运行考验，实践证明效果良好后再将淬火工艺规范交由操作人员执行。例如，电源和淬火变压器检修后，加热参数（功率、加热时间等）可能会有些改变；冬夏季节影响淬火水温，冷却参数可能会改变，所以工艺规范要根据质量检验结果灵活更改。

本标准 6.3.1 条对淬火冷却介质的规定与前一版有较大不同。1999 版中指出，感应淬火用水、油和水溶性淬火常用温度范围：水为 10 ~ 35°C，油为 40 ~ 80°C，水溶性淬火冷却介质为 10 ~ 40°C。本标准中指出淬火冷却介质的使用温度允许偏差：水为 ± 10°C，油为 ± 20°C，水溶性淬火冷却介质为 ± 10°C。采用温度允许偏差来规范淬火冷却介质的使用条件是因为不希望用使用温度来严格限制实际工作。例如，某冷轧花键 60°C 水喷射淬火，就超过了原标准中水温的上限 35°C。油的温度也完全可能超过 80°C，因为油的种类很多，如因某种热处理工艺需要，淬火油温为 80 ~ 120℃时，可采用 L-AN100 全损耗系统用油。至于光亮淬火油、真空淬火油等都各有其特殊规定，淬火油还可能加入各种不同的添加剂，所以油的标准也将有许多种。但是由于油对环境污染严重，而且淬火件表面较易出现硬度不均现象，还有产生火灾的问题，所以在各工业先进国家，水溶性淬火冷却介质已有取代油的趋势。日本用在所有热处理件中以水作淬火冷却介质所占的重量比例来衡量热处理厂的水平。水溶性介质可大致分为高分子聚合物和无机盐两大类，各国研制的配方都不公开。本标准用聚乙烯醇作为代表列于表 7 中，其实，聚乙烯醇由于其质量分数通常是 0.2% ~ 0.3%，浓度检验发生困难，不利于浓度管理，国外已很少应用。

本标准第 7.5 节中的自热回火工艺也是日本标准中没有的。自热回火源于苏联。30 多年来在我国大量生产实践中应用证明：在多种形状不太复杂、合金含量较低而又有足够淬火余热的表层淬火件中均能取得良好效果，不仅圆柱形工件如曲轴可以用它，凸轮轴的凸轮部位和飞轮齿环的齿部都可以用。使用自热回火既可节约回火设备，又能使工件在淬火后立即利用自身余热进行回火从而避免开裂，值得推广，因此列入本标准。舍别里亚柯夫斯基博士在其 1987 年《苏联感应热处理五十年》一文中提到，只要遵循三个条件，哪怕 w(C)高达 1.2% 也能避免淬裂，这三个条件是：奥氏体晶粒细于 11 级，冷却均匀和与炉中 150 ~ 180℃回火等效的自热回火（只降低硬度 1 ~ 2HRC），可以想见自热回火对防止淬裂的作用之大。苏联高尔基汽车厂已将自热回火应用到半轴和十字轴那样重要的零件，该厂几乎全部的中碳和高碳感应淬火件都已使用自热回火。里哈乔夫汽车厂着重严格控制冷却时间、淬火水温和水压，使工件的硬度、金相组织和硬化层深度均获保证而且不裂。这是因为设备能力和工艺参数使冷却规范受到严控后，冷却就能具有良好的重复性，自热回火的作用就十分可靠，即使是很重要的零件也不需要 100% 检验。日本沿袭美国和西欧感应淬火的传统，没有开展自热回火的应用，而是广泛使用炉中回火和感应回火。我国则由于采用了自热回火，实际受益较多。但是合金含量较低是否是自热回火的一个必要条件呢？我们感到并不一定是这样，因为我们可能是受经验的限制，合金含量高一些，也许更需要利用自热回火的及时性来防止淬裂，这一点还有待实践去证明。

另外，日本、奥地利的某些汽车厂，特别规定某些形状简单的中碳钢工件表层淬火后不需要回

火处理。一汽的钢板弹簧销感应淬火后，有相当一部分由于受到水淋或掉在水里根本没有自热回火，这虽然违反了工艺要求，但30多年来的服役效果证明，没有回火一样也很好，这可能是因为表层淬火在表面产生了压应力的缘故。这种情况，回火反而是多余的工序了。1971年的日本标准中第一条就说“本标准也适用于不做回火处理只做高频感应淬火处理的工件”。1985年日本标准虽删掉了这句话，但是在标准末尾的“参考”中指出，删掉的原因只是由于这种情况较为少见而已。而且在这两版日本标准的第六部分“工件的质量”中都很明显地提出：在只淬火不回火的场合，“表面硬度波动范围”和“变形”的规定需另行考虑。由此可见，日本有的工件不回火完全符合工艺标准。既然如此，工件淬火后就存在不回火、应回火和应及时回火三种情况。本标准使用“工件淬火后一般应及时回火”的写法，实际含意希望不要误解为“一切工件都需要回火”，不需要回火的工件应该坚决免除回火工序才能做到经济合理。

6. 质量检验与验收

本标准从已进行感应淬火回火的工件的外观、表面硬度、有效硬化层深度、金相组织、工件畸变情况进行检验，与JIS B 6912—2002基本一致。

1）本标准8.2节由二汽统计了从1983年至1987年5月三种零件的表面硬度每月抽检记录，其波动范围在表9规定值以内者，曲轴占83%，蹄片轴占97%，主销占93%。看来，日本标准在这方面要求较严，如不进一步提高设备、工艺或材质水平，我国可能还做不到。8.3节深度波动范围情况与此相似。

但是标准中表10、表11、表12、表13所指的波动范围都是同批处理的尺寸、材质及工艺相同的工件，在8h内抽检硬度较易做到。抽验硬化层深度，尤其对大工件来说，很难实现，这个具体问题还是有待探讨的。

2）本标准8.3节中的有效硬化层深度。根据GB/T 5617《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》，只测量有效硬化层深度，不测量总深度，这和日本标准不同，但符合国际标准。对钢件，“硬度法”是裁定层深的唯一方法，“金相法”则因为简易而仍普遍应用。国内硬度计问题尚未解决，测层深需要用小负荷维氏硬度计，国产的往往只有工作台却不带测微装置，有的带计算机但易坏而很不易修。维氏硬度需测出压痕的对角线长度取平均值再查表，而且往往要测三点以上才能找到界限硬度值。如果用内插法来确定层深，虽然只要测两点就行，但要大概知道界限硬度值的位置，比较费时间。大一些的工件如曲轴，取样都比较大，还得将两个面磨成平行，更不容易实现快速检验，因此金相法虽然测量精度较低，仍不能废弃不用。球墨铸铁件由于石墨的影响，应用“硬度法”还有困难，所以仍用“金相法”作为测量硬化层深度的唯一方法。但无论钢和铸铁，所测均为有效深度。

3）本标准8.5节是畸变问题。1971年日本标准列出了畸变允许数值表，1985年却取消了这个表，畸变量改为由有关方面商定。看来硬性规定不一定是好办法，还是商定较为合理，本标准也采用了商定的写法。

4）1971年版日本标准是用维氏硬度计测量硬化层深度，1985年改为用显微硬度计，因此，应与我国情况做一比较。日本的显微硬度，负荷压力为9.8N（1kgf）以下。根据GB/T 5617《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》，测量硬化层深度时常用的负荷压力为9.8N（1kgf），协议范围一般为4.9～49N（0.5～5kgf）。由于与国外交往等原因，有时也按国外标准采用其他负荷如2.94N（300gf）等，这些数值一般都属小负荷维氏硬度测定范围。因此，本标准关于硬化层深度测量条目中应明确写出使用仪器为小负荷维氏硬度计。

另外，大型工件采用超声硬度计或便携式里氏硬度计等其他硬度计进行检验，只要读数准确可靠，都和本标准没有矛盾。因为从日本标准的写法可以看出，有许多方面标准都采取了举例示意的

精神，并未要求机械地贯彻。

7. 安全卫生与劳动保护要求

本标准规定了感应淬火回火过程的安全卫生防护应符合 GB 15735 的有关规定，感应加热设备电磁辐射职业暴露限值应符合 GB 10437 和 GB 8702 的相关规定。（由全国热处理标准化技术委员会秘书处供稿）

三、标准内容（JB/T 9201—2007）

钢铁件的感应淬火回火

1 范围

本标准规定了钢铁件表面感应淬火回火质量控制及安全卫生及劳动保护的基本要求。

本标准适用于钢铁件表面感应淬火及随后回火的热处理工艺。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其后所有的修改单（不包括勘误表的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2004，ISO 6508—1：1999，MOD）

GB/T 699　优质碳素结构钢

GB/T 1220　不锈钢棒（GB/T 1220—1992，NEQ JIS G 4303：1988）

GB/T 1221　耐热钢棒（GB/T 1221—1992，neq JIS G 4311：1987）

GB/T 1222　弹簧钢（GB/T 1222—1984，neq JIS G 4801：1977）

GB/T 1298　碳素工具钢技术条件（GB/T 1298—1986，neq ASTM A 686：1979）

GB/T 1299　合金工具钢（GB/T 1299—2000，neq ASTM A 681：1994）

GB/T 1348　球墨铸铁件

GB/T 3077　合金结构钢（GB/T 3077—1999，neq DIN EN 10083-1：1991）

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 4341　金属肖氏硬度试验方法（GB/T 4341—2001，eqv JIS Z 2246：1992）

GB/T 5216　保证淬透性结构钢

GB/T 5617　钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定（GB/T 5617—2005，ISO 3754：1976，NEQ）

GB 8702　电磁辐射防护规定

GB/T 9439　灰铸铁件

GB/T 9440　可锻铸铁件（GB/T 9440—1988，neq ISO 5922：1981）

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB 10437　作业场所超高频辐射卫生标准

GB/T 11352　一般工程用铸造碳钢件（GB/T 11352—1989，neq ISO 3755：1975）

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13314　锻钢冷轧工作辊通用技术条件

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 15822.1　无损检测　磁粉检测　第 1 部分：总则（GB/T 15822.1—2005，ISO 9934-1：2001，IDT）

GB/T 16924　钢件的淬火与回火（GB/T 16924—1997，eqv JIS B 6913：1989）

GB/T 18254　高碳铬轴承钢

GB/T 18449.1　金属努氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（GB/T 18449.1—2001，neq ISO 4545：1993）

JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火

JB/T 4120　大型锻造合金钢支承辊

JB/T 9204　钢件感应淬火　金相检验

JB/T 9205　珠光体球墨铸铁件感应淬火　金相检验

JB/T 9218　渗透探伤方法（JB/T 9218—1999，eqv JIS Z 2324：1992）

3　钢铁件表面感应淬火回火工艺代号

钢铁件表面感应淬火回火工艺代号应符合 GB/T 12603 的规定。

4　感应淬火回火工件常用材料及技术要求

4.1　常用材料

感应淬火及回火工件常用材料应符合表 1 的规定。

表 1　感应淬火及回火工件常用材料

类　别	牌　号
优质碳素结构钢　GB/T 699	25,30,35,40,45H,50,55,60 25Mn,30Mn,35Mn,40Mn,45Mn,50Mn,60Mn,70Mn
保证淬透性结构钢　GB/T 5216	45H,15CrH,20CrH,20Cr1H,40CrH,45CrH,16CrMnH,20CrMnH,15CrMnBH,17CrMnBH,40MnBH,45MnBH,20MnVBH,20MnTiBH,15CrMoH,20CrMoH,22CrMoH,42CrMoH,20CrMnMoH,20CrMnTiH,20CrNi3H,12Cr2Ni4H,20CrNiMoH,20CrNi2MoH
合金结构钢　GB/T 3077	15CrH,20CrH,20Cr1H,45CrH,16CrMnH,20CrMnH,15CrMnBH,17CrMnBH,20CrMnTiH,20CrNi3H,12Cr2Ni4H,20CrNiMoH,20CrNi2MoH 30Mn2,35Mn2,40Mn2,45Mn2,50Mn2,20MnV,27SiMn,35SiMn,42SiMn,40B,45B,50B,40MnBH,45MnBH,40MnVB 20CrMoH,22CrMoH,20CrMnMoH 30Cr,35Cr,40Cr,50Cr,38CrSi,30CrMo,35CrMo,42CrMo,40CrV,40CrMn,25CrMnSi,30CrMnSi,35CrMnSiA,40CrMnMo,40CrNi,45CrNi,50CrNi,40CrNiMoA
弹簧钢　GB/T 1222	65,70,85,65Mn,70Mn,55Si2Mn,55SiMnB,55SiMnVB,60Si2Mn,60Si2MnA,60Si2CrA,60Si2CrVA,55CrMnA,60CrMnA,60CrMnMoA,50CrVA,60CrMnBA
高碳铬轴承钢　GB/T 18254	GCr14,GCr15,GCr15SiMn,GCr15SiMo,9Cr18Mo
碳素工具钢　GB/T 1298	T7,T8,T8Mn,T9,T10,T11,T12,T13
合金工具钢　GB/T 1299	9Mn2V,CrWMn,9CrWMn,5CrMnMo,5CrNiMo
锻钢冷轧工作辊　GB/T 13314	8CrMoV,8Cr2MoV,9Cr2,9Cr2Mo,9Cr2W,9Cr3Mo,9Cr2MoV
锻造合金钢支承辊用钢　JB/T 4120	9Cr2,9Cr2Mo,9CrV,75CrMo,70Cr3Mo,35CrMo,42CrMo,55Cr
不锈钢棒　GB/T 1220	2Cr13,3Cr13,3Cr13Mo

（续）

类　　别	牌　　号
耐热钢棒　GB/T 1221	4Cr9Si2，4Cr10Si2Mo，8Cr20Si2Ni
一般工程用铸造碳钢　GB/T 11352	ZG 230-450，ZG 270-500，ZG 310-570，ZG 340-640
灰铸铁　GB/T 9439	HG200，HT250，HT300，HT350
珠光体可锻铸铁　GB/T 9440	KTZ 450-06，KTZ 550-04，KTZ 650-02，KTZ 700-02
球墨铸铁　GB/T 1348	QT 400-18，QT400-15，QT450-10，QT500-7，QT600-3，QT700-2，QT800-2，QT900-2
粉末冶金铁基结构材料	FTG30，FTG60，FTG90，FTG70Cu3，FTG60Cu3Mo

注：1. 保证淬透性结构钢及各种合金钢铸件参照表中所示牌号或化学成分，相当者可选用。
2. 渗碳钢（牌号参照 JB/T 3999）经渗碳后采用感应淬火回火处理时，也适用本标准有关内容。
3. 必要时可提出特殊要求。

4.2　技术条件

工件的技术要求包括表面硬度、硬化层深度、硬化区范围、处理前后的金相组织、畸变量及外观均应适合感应淬火的工艺特点。

5　待处理工件的原始状态

5.1　根据表 2 规定的项目记录待处理工件的原始状态，并予以保存。

5.2　根据表 3 规定的项目记录待处理工件的外观、形状、尺寸及精度，并予以保存。

表 2　待处理工件的原始状态

项　　目	说　　明
（1）工件材料的类别	
化学成分[①]	
钢种代号[①]	
拉伸试验数据[①]	
硬度测试数据[①]	
淬透性试验记录[①]	
金相组织检验记录[①]	晶粒度、脱碳层深度、碳化物、非金属夹杂物、显微组织及低倍组织
烧结密度测试数据[①]	
（2）工件材料的制造方法	有冷、热加工之分 有冷、热加工之分 有冷、热加工之分 有冷、热加工之分 有冷、热加工之分 有冷、热加工之分 有冷、热加工之分 含厚度校正
铸造	
烧结[②]	
锻造	
轧制	
冲压	
钣金加工	
拉拔	
型轧	
挤压	
烘烤	
焊接	
机械加工	

（续）

项　　目	说　　明
（3）工件的预处理及工艺	必要时还需明确加热温度、保持时间及冷却方法
正火	
锻造余热淬火	
完全退火	
球化退火	
去应力退火	
调质	
渗碳③	
渗氮③	
（4）工件的表面质量及其矫正程度	
矫正的程度	有冷、热加工之分

① 确定对感应淬火处理无妨碍时，也可省略。

② 关于钢铁类烧结材料，由标准具体说明。

③ 也包括渗碳淬火回火、碳氮共渗淬火回火。

表 3　待处理工件的外观、形状和尺寸

外观 工件的形状 工件的尺寸	有无裂纹、伤痕、锈斑、黑皮、毛刺及油污 特殊形状、厚度变化、孔穴的形状与位置 处理部位的加工余量、整体处理的加工余量
工件的与精度①	精度包括尺寸公差、形状公差、位置公差，其中形状公差指直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度及面轮廓度；位置公差指平行度、垂直度、倾斜度、位置度、同轴度及对称度
处理部位的表面粗糙度	
清理方法	喷砂或喷丸
防锈剂的种类②	

① 该项目对一般件可部分或全部省略。

② 确定对感应淬火处理无妨碍时，也可省略。

6　感应淬火回火设备

6.1　感应加热电源

6.1.1　感应加热电源不论是变频机式、晶闸管式、电子管式或晶体管式，通常条件下，应能产生适宜快速加热所需的输出功率及频率，同时配备输出输入控制装置。在状态保持条件下，所设定的输出电压和输出功率必须满足表 4 所示的精度控制要求。

表 4　感应加热电源的控制精度

电 源 种 类	电　　压	功　　率
变频机式、电子管式及其他	±2.5%	±5%
晶闸管式、晶体管式	±2%	±4%

6.1.2　配备控制加热时间的限时系统，在满足表 5 所示综合精度条件下，必须能够保持和调整限时参数。

表 5 限时系统的综合精度 （单位：s）

时间范围	综合精度
≤1	≤0.10
>1	≤0.15

6.2 淬火机床

淬火机床使用固定淬火机械、移动淬火机械或其他与待处理工件的形状相适应的淬火设备时，必须能够保持或调整至表 6 规定的精度。

表 6 感应淬火机床的精度

检验项目	精度
主轴锥孔径向圆跳动①	≤0.3mm
回转工作台面的跳动②	≤0.3mm
顶尖连线对滑板移动的平行度	≤0.3mm（夹持长度≤2000mm）
工件进给速度变化范围③	±5%

① 将检验棒插入主轴锥孔，在距主轴端面 300mm 处测量。

② 装上直径 >ϕ300mm 的圆盘，在半径 150mm 处测量。

③ 装上直径 ϕ50mm 长 500mm 的圆棒时测量的结果。对不能装入长 500mm 试件的情况，应等效校正至该条件。

6.3 淬火冷却设备

6.3.1 根据待处理工件材料的种类、形状、尺寸不同，可选用水、油、气体、水溶性淬火液等不同的淬火冷却介质，各冷却系统中使用的淬火冷却介质的温度波动必须符合表 7 所列的许可范围。

表 7 淬火冷却介质的使用温度允许偏差 （单位：°C）

淬火冷却介质	水	油	水溶性淬火剂
温度波动许可范围	±10	±20	±10

6.3.2 淬火冷却槽应有足够的容积，并应配备适当的淬火冷却介质循环装置及温度调节装置。浸液淬火的冷却槽应配备使淬火液具有一定流速的搅拌装置或具有同样效果的装置。

6.4 回火设备

6.4.1 炉中回火设备有效加热区按 GB/T 9452 的规定进行测定，其温度偏差不得超过表 8 的规定。

表 8 回火加热设备有效加热区的温度波动值 （单位：°C）

加热区温度	允许温度波动值	
	重要件	一般件
≤400	±10	±15
>400	±15	±20

6.4.2 炉中回火应配备能跟踪回火温度与时间关系的自动记录装置，其温度测定系统经校正后总误差应符合表 9 规定。

表 9 温度测定系统总误差 （单位：°C）

设定温度 t	≤400	>400
温度系统误差	±4	±t/100

6.4.3　感应回火设备应满足6.1和6.2的规定要求。

6.5　设备维护

设备维护应遵守操作规程和维修保养制度，并保存相关记录，保证设备的精度和使用性能。

7　感应淬火回火过程

7.1　感应器的设计与选用

感应器、喷水器的结构、形状及尺寸精度应满足使用要求。

7.2　感应器的检查

对冷却器和相关夹具进行检查，对感应器的变形、破损以及线圈的状态等应当加以确认。还要对冷却器出水口进行检查与清理，并确认夹具能正常动作。感应器与变压器端板之间必须保持良好接触。

7.3　工件的装夹

装夹时需严格保持工件与感应器的相对位置正确，特别是应当注意偏心和倾斜，以保证加热与冷却速度相对均匀。避免因为工件的局部加热引起的膨胀、畸变导致感应器与工件间的接触放电等故障。

7.4　工件的淬火加热与冷却

根据工件、设备条件和试验结果，确定加热工艺参数，如功率或回路电压、加热温度、加热时间或工件进给速度等。

选用适当的冷却介质，试验确定冷却工艺参数，如介质温度、压力、流量、浓度的范围及冷却时间。必要时为控制工件畸变也可采用加压淬火。

7.5　工件的回火加热与冷却

回火加热与冷却时，确认加热与冷却的条件，为避免发生开裂、畸变和其他缺陷应当在淬火后及时回火，也可采用自回火的方法。回火温度的选择应使工件及表面获得规定的性能。

7.6　感应淬火及回火之后的校直处理

热处理后对需校直的工件应当确保校直产生的残余应力不妨碍后续的机械加工与使用，必要时应进行去应力处理。

7.7　记录

应按规定和工艺要求对处理工艺进行记录，并妥善保管，以便备用。

8　质量检验

8.1　外观

已处理工件表面不能出现因感应淬火引起的微裂纹、融熔、烧伤及影响使用的划痕、磕碰等缺陷。外观检验采用目测或根据GB/T 15822.1、JB/T 9218规定的任一方法检查裂纹。

8.2　表面硬度

表面硬度测试根据GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、GB/T 18449.1的规定，选择相宜的硬度试验机进行测试。穿透淬火件的表面偏差应符合GB/T 16924的规定。表面淬火件的表面硬度偏差应符合表10、表11、表12列出的允许值范围。表12应符合JB/T 4120的规定，仅适用于某些大型工件。

表10　洛氏硬度偏差范围

工件的类型	表面硬度　HRC					
	单　　件			同一批件		
	≤50	>50~60	>60	≤50	>50~60	>60
重要件	≤5	≤4.5	≤4	≤6	≤5.5	≤5
一般件	≤6	≤5.5	≤5	≤7	≤6.5	≤6

表 11　维氏硬度或努氏硬度偏差范围

工件的类型	表面硬度　HV 或 HK			
	单　　件		同 一 批 件	
	≤500	>500	≤500	>500
重要件	≤55	≤85	≤75	≤105
一般件	≤75	≤105	≤95	≤125

表 12　肖氏硬度波动范围

工件的类型	表面硬度　HS			
	单　　件		同 一 批 件	
	≤80	>80	≤80	>80
重要件	≤6	≤8	≤8	≤10
一般件	≤8	≤10	≤10	≤12

注：1. 各硬度数值是用不同试验机测得的结果，各表中的硬度值无直接换算关系。维氏或努氏硬度的施加载荷由委托与受托双方协商确定。
2. 同一批工件内不同部位要求硬度各异时，单件的硬度波动指的是在同样淬火回火或淬火条件下形状、尺寸相同的部位。
3. 同一批件指用同一批待处理工件在同一操作条件下处理得到的已处理工件总称。
4. 具体硬化部位范围的波动由委托方与受托双方协商确定。

8.3　有效硬化层深度

简单形状工件的有效硬化层深度波动范围应符合表 13 的规定。有效硬化层深度测试按 GB/T 5617、JB/T 9205 或双方协商规定执行。

复杂形状和大型工件的有效硬化层深度经有关方面商定，允许有较大的波动范围。

表 13　有效硬化层深度的波动范围　　（单位：mm）

有效硬化层深度	硬化层深度波动范围		有效硬化层深度	硬化层深度波动范围	
	单　　件	同一批件		单　　件	同一批件
≤1.5	0.2	0.4	>3.5～5.0	0.8	1.0
>1.5～2.5	0.4	0.6			
>2.5～3.5	0.6	0.8	>5.0	1.0	1.5

注：硬化部位范围的波动可由委托方与受托方协商确定。

8.4　金相组织

金相组织检验根据材料在 JB/T 9204、JB/T 9205 中规定的选择合适的标准进行。

进行金相组织检验时，根据工件材料的种类不同，其组织必须是与各种使用目的相适应的正常组织，不允许存在因感应加热引起的过热、过烧等缺陷。

8.5　畸变

已处理工件的尺寸变化，必须确保不影响随后的机械加工与使用。具体尺寸畸变量由委托与受托双方协商确定。

9　质量验收

验收时对于已处理工件的外观、表面硬度、硬化层深度、金相组织及畸变量检查必须满足第 7 章、第 8 章的规定。硬化层深度的检查允许用相同材料相似试样进行。金相组织检验可以根据委托

与受委托双方协议处理。

10　安全卫生与劳动保护要求

10.1　感应淬火回火过程的安全卫生防护应符合 GB 15735 的有关规定。

10.2　感应加热设备电磁辐射职业暴露限值应符合现行 GB 10437 和 GB 8702 的规定。

11　产品报告单

交货单或产品报告单中应包括下列内容：

——工件名称和图号；

——工件用材料牌号（或代号）；

——处理工艺代号；

——数量或质量；

——质量检验结果；

——处理单位全名或其简称；

——处理日期：年、月、日。

第五节　钢铁件的火焰淬火回火处理

一、概论

我们收集了有关国际标准、文献、资料，进行了初步分析研究，在对国内外火焰淬火技术分析和对比的基础上，选定了日本、美国、德国的相应标准作为主要参照件，编制了本标准。

目前我国一些企业中的火焰淬火技术已达到相当高的水平，但有众多企业特别是中小企业中的火焰淬火技术水平仍较低。工艺过程和质量检验多不规范，缺乏科学管理。因此，应进一步提高对这一技术的认识，加快发展步伐，使之尽快纳入现代化科学技术发展的轨道。编制相应的工艺标准就是其中重要措施之一。

考虑到我国当前这一技术发展水平和应用的实际，编制该项标准的指导思想应该是：

1）应便于实现全面质量管理，提高机电产品质量。

2）既要达到或接近国际先进水平，又要符合我国实际，以促进生产，推动科技进步，有利于国际交流。

根据原国家标准局在有关文件中对技术标准的总要求，结合我国火焰淬火实际情况，在总结我国多年来火焰淬火技术成就的基础上，以我国先进水平为起点，并注意多数企业的基本情况和照顾其通用性，使该标准尽量接近或达到国际先进水平。内容上对适用范围，引用标准、工件处理前后的要求、处理设备、工艺方法、安全技术、处理质量要求、质量检验产品工艺记录等项均应做出明确规定。凡经过努力可达到的，都应列入标准中，并与国际先进标准协调一致。

工艺标准不同于工艺守则、工艺卡等文件，其通用性很强，故不宜对工艺参数等做出过于具体的规定，各企业可以根据自己情况，以标准为依据，制定本单位的企标或工艺文件。

3）编制该项标准应突出火焰淬火的特色，针对性要强，以利于贯彻执行。火焰淬火属于表面淬火工艺之一，与其他表面淬火方法的区别在于热源、加热的方式和速度不同。热源是燃烧的火焰，加热方式是采用火焰喷嘴加热工件表层。因而工艺方法、工艺参数、设备、工具、安全技术、质量控制等，与其他表面淬火方法不同。编制标准时，应将这些独具特色的内容做出明确规定。

本标准于 2008 年重新修订，标准编号为 JB/T 9200—2008，以代替 JB/T 9200—1999。新标准对引用标准及相关术语做了小量补充调整。

二、标准应用说明

1. 参照件和主要参考资料的选定

国外相应标准和相关标准主要有日本的 JIS B 6912《钢铁件感应淬火回火处理》、美国的 MIL-S-1255C《表面淬火：火焰淬火和感应淬火》、德国的 DIN 17212《火焰淬火与感应淬火钢质量标准》等。我国的相关标准有 GB/T 224《钢的脱碳层深度测定方法》、GB/T 230.1《金属材料　洛氏硬度试验》、GB/T 4340.1《金属材料　维氏硬度试验　第 1 部分：试验方法》、GB/T 4341.1《金属材料　肖氏硬度试验　第 1 部分：试验方法》、GB/T 5617《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》、GB 15735《金属热处理生产过程安全卫生要求》、JB/T 4009《接触式超声纵波直射探伤方法》、YB/T 5148《金属平均晶粒度测定方法》等。主要相关资料有：原沈阳重型机器厂的《重型机件的火焰淬火》、原哈尔滨重型机器厂的《特大型交叉滚柱轴承圈火焰淬火》、原西安冶金机械厂的《火焰淬火安全操作规程》、原宝鸡秦川机床厂的《火焰淬火操作规程》等有关的火焰淬火工艺文件。

通过调研和对比分析，本标准选定了 MIL-S-12515C、JIS B 6912、DIN 17212 为主要参照件，综合我国有代表性的企业的经验，起草标准条文。

MIL-S-12515C 标准，条文简练，覆盖面大，通用性强，适用于铁基合金工件的表面淬火。该标准对引用文件、技术条件、工艺程序组成因素、质量标准和检验方法等作了原则性规定。实施起来便于协调，技术水平也较高。但该标准将火焰淬火与感应淬火合编为一个标准，不能突出火焰淬火的特点，对决定质量的火焰加热规范和质量要求，也未做出具体规定。

JIS B 6912 标准是感应淬火标准，对感应加热用钢、设备，工艺规范质量检验等均做了比较详细的规定。工艺控制和质量控制严格，实施技术水平较高，对编制火焰淬火回火处理标准有较大参考价值，但标准规定过细，实施起来灵活性较小。

DIN 17212 标准的条文很简练，只规定了火焰淬火质量指标与检验方法。

本标准草案内容，采用了 MIL 标准中的工艺部分和 JIS 标准中对火焰淬火也适合的通用部分，并吸收了一些 DIN 标准的个别内容，而大部分条文则是综合了国内先进单位的有关成就和经验，以及各方面提出的合理意见与建议。

2. 主题内容和适用范围

（1）本标准适用于钢或铸铁工件的火焰淬火，然后在回火炉中回火或火焰淬火后利用工件自身余热回火或火焰淬火不回火的场合。不包括火焰淬火后再用火焰加热的回火。

（2）本标准只适用于各种钢铁件，包括钢材、铸钢件及各种铸铁件（包括普通灰铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁等制件）。

（3）本标准规定了钢铁件火焰淬火的质量控制和劳动保护的基本要求。所谓质量控制，包括工件原材料加工过程、加工质量、火焰淬火质量、火焰淬火后回火质量等质量控制和检验的基本要求。所谓劳动保护的基本要求，是指对火焰淬火操作现场、操作用的设备和工夹具的安全技术措施和要求，以保证设备和操作者的人身安全。

3. 引用标准

本标准引用了上述 8 个标准和一个规定，作为本标准中关于各项质量检验方法的规定，还依据了 GB 7232《金属热处理工艺　术语》，使本标准中有关名词术语与其统一。

4. 工件

本标准规定了工件材料，处理前工件的原始资料内容和项目，处理前工件的外观，尺寸和表面状态，以及验收要求等，并规定了重要件与一般件的含义。即火焰淬火回火后只有表面硬度要求者称一般件；不但有硬度要求，而且对其他力学性能、金相组织、畸变量等均有要求者称为重要件。

（1）工件材料。本标准中表1所列为典型常用火焰淬火材料，称为“推荐”的钢铁材料。表1以外的其他钢铁材料，如轧辊用钢9Cr、9Cr2，渗碳用钢，铸钢ZG65Mn、ZGCr13、ZG35CrMo，工具钢等虽未列入，仍可适用于本标准。表1所列材料或未列入的其他钢铁材料质量应符合相应的质量标准要求。

（2）处理前工件的原始资料。按标准表2的规定，提出工件处理前用钢或铸铁牌号，试验数据，供货状态，工件加工方法，预备热处理类型等。因为这些都是影响工件火焰淬火质量的因素。要求不高的一般件的材料化学成分、力学性能、金相组织等检验数据，可省略或部分省略。

（3）处理前工件的外观、尺寸及表面状态按标准表3规定的项目，提出质量要求。这些是影响火焰表面淬火质量的直接因素。处理前后工件表面有刀痕、油污、锈蚀等缺陷，在火焰淬火时可能产生裂痕，硬度不均，软点等缺陷；若工件处理部位形状不合理，火焰淬火时难以达到技术要求，处理部位的形状也是设计火焰喷嘴、计算火焰功率的依据之一。工件的尺寸精度、表面粗糙度等则影响火焰淬火的冷却效果；火焰淬火时工件畸变量、工件的清理和防锈方法，将会影响工件表面质量和应力状态。以上种种均应列出验收项目，做出明确规定。

（4）处理前工件的验收。这是生产过程中控制质量的关键环节，工件火焰淬火回火处理前，必须按标准中表1、表2、表3规定的项目进行验收。验收方法（逐个验收还是抽样验收）未作具体规定，可由双方商定。验收期间应做记录，及时发现不合格的半成品，并作为调整火焰淬火工艺和处理后进行质量分析的依据之一。

5. 设备

火焰淬火设备包括供气设备、测温设备、淬火机床、回火设备等。我国上述设备种类繁多，技术水平相差悬殊，对火焰淬火质量的管理和稳定都是不利的。因此，必须提出统一要求，对上述各类设备直接影响火焰淬火质量的诸方面做出具体规定。

（1）燃烧气体供给装置。火焰淬火用的可燃气体有乙炔、天然气、丙烷气等，常用者为乙炔气，供给乙炔的有乙炔发生器、乙炔瓶、乙炔汇流排或乙炔输送管道等。不管哪种供气装置都必须有输出控制装置、压力计和安全阀，以保证供气稳定、安全。在稳定状态下，输出燃烧气体的压力应控制在$(0.9\sim1.1)\times10^5$Pa，这是综合我国各厂常用的经验数据而确定的。乙炔气体温度不可超过60℃，乙炔发生器的水温不超过40℃，以保证安全生产。

（2）氧气供给装置。主要有氧气瓶，氧气汇流排和氧气输送管道。不管使用哪种供氧装置，均必须有输出控制装置、压力计和安全阀，以保证供气稳定、安全。标准规定在稳定状态下，小件火焰淬火时，输出氧气压强应控制在$(2\sim3.5)\times10^5$Pa，大件淬火时，则为$(5\sim15)\times10^5$Pa，氧气瓶压力应为210×10^5Pa，上述数据也是综合我国多数厂家的经验数据。

（3）测温装置。根据我国现在条件，规定火焰淬火时，采用光电温度计或红外辐射温度计测温，它将为实现自动控制创造条件，火焰淬火技术水平和质量水平也可大大推进一步。这样规定是能够实现的，因为我国当前已能生产上述测温元件的系列产品，如上海自动化仪表三厂已生产WDL-31型光电温度计，1000型便携式红外辐射温度计。

（4）淬火机床。批量生产时，需应用淬火机床。解放初期，我国使用的淬火机床，都是用废旧切削机床改装而成，有结构简单的回转装置，将工件放在回转台上，即可进行火焰淬火，但精度都很低，这对保证火焰淬火质量均匀性及减少畸变是不利的。20世纪60年代我国已能生产火焰淬火机床，如JQ611型万能卧式火焰淬火机组，由卧式淬火机、回转淬火台和托辊座三部分组成，可实现轴类、齿轮类等多种工件的批量生产。其最大顶尖中心距2200mm，最大回转工件直径ϕ800mm，回转台卡盘直径ϕ900mm。主轴和回转台转速由晶闸管无级调速系统控制，最高转速分别为400r/min和63r/min，最低转速分别为1/4r/min和1/30r/min。20世纪70年代以后，我国已能生产多种

类型的多用火焰淬火机床，如大齿圈火焰淬火装置、齿轮旋转淬火机、平面火焰淬火自动小车等。进入21世纪，我国的火焰淬火机床生产已实现自动化、系列化。

国外一些先进国家生产有多种类型的火焰淬火自动机系列产品。如德国生产的ZHM和ZHK型齿轮旋转自动淬火机，可淬硬 ϕ800mm 和 ϕ500mm 的大模数齿轮，并用温度自动调节器（专利）实现自动控温。又如德国 Pedinghous 公司生产的602、610、615、660、684、686等齿轮淬火自动机，通过液压或机械传动进行火焰功率、加热温度和加热时间的调节与控制自动化，无疑这对稳定火焰淬火质量提供了充分的保证。

考虑到我国的实际情况，为保证火焰淬火的质量，无论使用哪种类型的火焰淬火机床，规定其精度均应符合标准中表4的要求。这些数据是参考了我国生产的感应淬火机床精度参数，并采用了日本 JIS B 6912 的数据。

（5）淬火冷却设备。除采用自动淬火机使加热冷却一次完成外，如果火焰加热后采用浸液或投入淬火槽冷却的方法时，为保证淬火质量，规定冷却槽应有足够容量，配备适当的循环及温度调节装置，以使其冷却速度足以使工件获得马氏体组织，又不致冷却过快而淬裂。

（6）回火设备。回火设备加热的均匀性和测温的准确性，对淬火回火后的质量影响很大。故规定回火设备有效加热区应符合标准中表5的规定；测温装置的测温精度应符合标准中表6的规定。针对热处理车间生产过程中往往忽视回火时间的控制，规定了回火设备要配备能跟踪回火温度和时间关系的自动记录装置。

（7）设备的保养。为保证火焰淬火回火设备精度稳定与性能可靠，必须对操作规程和维修保养制度做出规定，并保存有关记录备案。

6. 火焰淬火回火处理工艺

（1）火焰淬火方法的确定。火焰淬火方法的分类没有统一规定，美国和日本按工件与火焰喷嘴的相对位置的变化分为固定法、前进法、旋转法和联合法四种。我国和苏联早年也沿用这种分类方法。近年来趋于按工件表面加热和冷却方式的不同而分为两大类。每一类又分若干种，即同时加热淬火法和连续加热淬火法。同时加热淬火法是将工件需淬火的部位加热到淬火温度，然后再冷却（喷冷却介质、浸液或投入淬火槽）。连续加热淬火法是将工件淬火部位加热和冷却连续进行。

1）同时加热淬火法

①固定法。如图2.5-1所示，淬火工件固定，火焰喷嘴也在合适的位置固定，工件表面被加热到淬火温度，然后用淬火嘴喷冷，或投入冷却槽。此法主要用于局部淬火的工件，如螺钉头、气门顶杆端头的淬火。

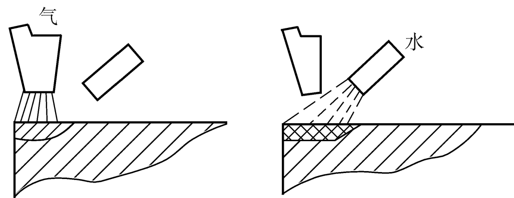


图2.5-1　固定淬火法示意图

②快速旋转法。如图2.5-2所示，用一个或几个固定火焰喷嘴，对快速旋转（75～150r/min）的工件表面作一定时间的加热，然后用淬火嘴喷冷却介质或浸入淬火槽。此法多用于淬硬宽度不大的旋转体，如曲轴轴颈、凸轮、直径和模数较小的齿轮等。

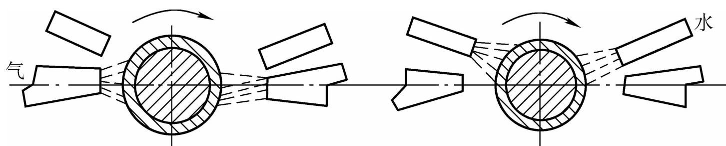


图2.5-2　快速旋转淬火法示意图

2）连续加热淬火法

①平面前进法。如图 2. 5-3 所示，淬火工件表面为一平面，火焰喷嘴和淬火嘴一前一后沿平面以 50～300mm/min 的速度做直线移动，火焰喷嘴和淬火嘴之间距为 10～30mm。这种方法主要用于淬硬床身导轨、大模数齿轮的单齿淬火等。

②旋转前进法。如图 2. 5-4 所示，工件以 50～300mm/min 的速度缓慢旋转，火焰喷嘴和淬火嘴在轴侧同一位置一前一后固定。此法缺点是旋转一周后，在淬硬带接头处易形成软带或开裂。此法多用于大型制动轮、滚轮、特大型轴承圈、大型旋转支承等工件的火焰淬火。

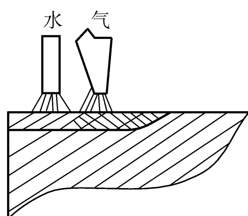


图 2. 5-3　平面前进淬火法示意图

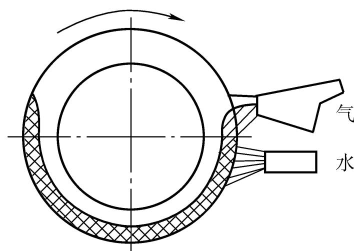


图 2. 5-4　旋转前进法示意图

③螺旋前进法。如图 2. 5-5 所示，轴形工件以一定圆周速度旋转，火焰喷嘴和淬火嘴沿轴向前进，工件每转一周喷嘴前进的距离等于喷嘴宽度加 3～6mm，从而得到螺旋形淬硬表面，其缺点是形成螺旋状软带。此法主要用于淬硬大型轴类件，如大型柱塞、大型轧辊等。

④快速旋转前进法。如图 2. 5-6 所示，用一个或数个火焰喷嘴和淬火嘴，也可用环形喷嘴或联合喷嘴围绕轴的工件表面。使喷嘴包围高速旋转（75～150r/min）的工件以一定的速度沿轴前进，使加热和冷却在工件表面相随一起进行淬火，不会产生软带。此法多用于细长工件，如锤杆、小型轧辊、长轴等。

在制订淬火工艺时，应根据工件形状、尺寸、技术条件及设备情况等选择上述合适的火焰淬火方法。

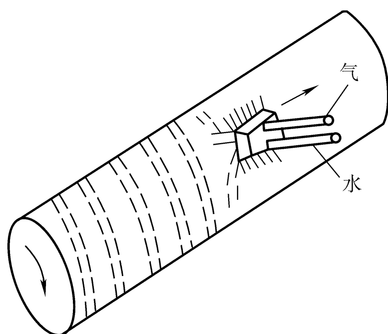


图 2. 5-5　螺旋前进法示意图

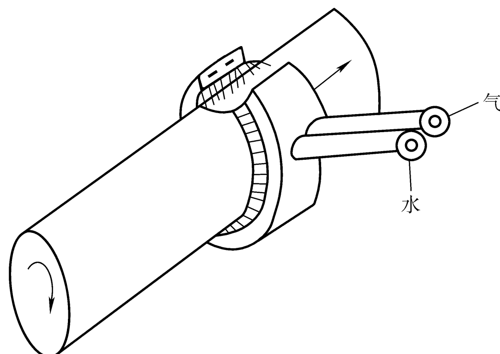


图 2. 5-6　快速旋转前进法示意图

（2）喷射器、火焰喷嘴、淬火嘴及夹具的检查。这些器具是火焰淬火的工艺实施工具，对火焰淬火有直接影响，其结构是否合理，工作是否正常，对淬火质量有决定性作用。故应规定淬火前必须严格检查上述工具有无反常情况，特别是喷嘴的火孔和淬火嘴的水孔不应有脏物堵塞。

1）喷射器。即喷枪，它是使可燃气体与氧气以一定比例混合，并形成火焰的工具。一般分为射吸式和等压式两种，我国生产的淬火喷枪或焊炬多为射吸式，其结构主要由带有导气管和调节阀的手柄、混合室和喷射器的导管以及能形成火焰的多焰式或缝隙式喷嘴三大部分组成。图 2. 5-7 所示为国产 HY-3 型火焰淬火喷枪结构示意图，主要由喷射器、混合室、水冷套管、调位夹具、乙炔和氧气调节阀、乙炔和氧气接头、进水和出水接头等部件组成。喷枪头部的连接螺母和接管出厂时只带一副，用户可自制几副备用。喷嘴由用户根据工件淬火部位的形状，尺寸以及淬火方法设计制造，装到接管上。混合室是喷枪的重要组成部件，HY-3 型喷枪的混合室有 12 组规格，由用户可根据需要选择。

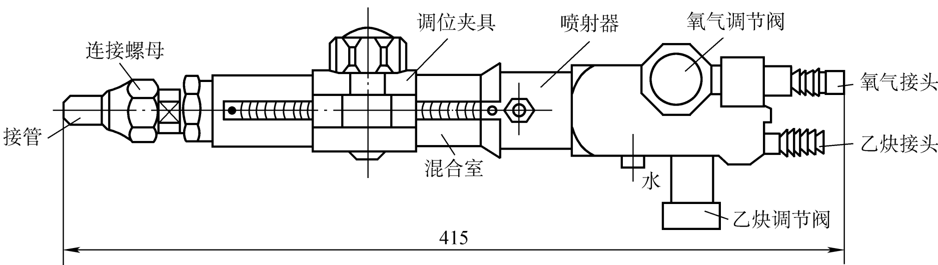


图 2. 5-7　HY-3 型火焰淬火喷枪示意图

HY-3 型淬火喷枪重量较大，多是装在淬火机床上使用，如用手工操作很不方便，可将焊炬改装为淬火喷枪，常见为 H01-20 型和 CY-48 型焊炬改装的喷枪。如图 2. 5-8 所示。

苏联生产的 ЛГ-600 系列大喷枪，比我国的 HY-3 型喷枪大一倍，Г33-2-57 型喷枪和德国生产的 H 系列、M 系列喷枪功率都很大，都以煤气、天然气和丙烷作为可燃气。

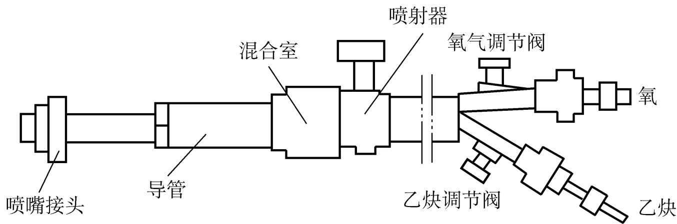


图 2. 5-8　改装后 CY-48 型喷枪示意图

2）火焰喷嘴。淬火喷嘴的设计和制造的成功与否是决定淬火质量的关键。连续式淬火喷嘴按其形状可分为平喷嘴、橇形喷嘴、角形喷嘴、环形喷嘴和特殊喷嘴，如图 2. 5-9 所示。

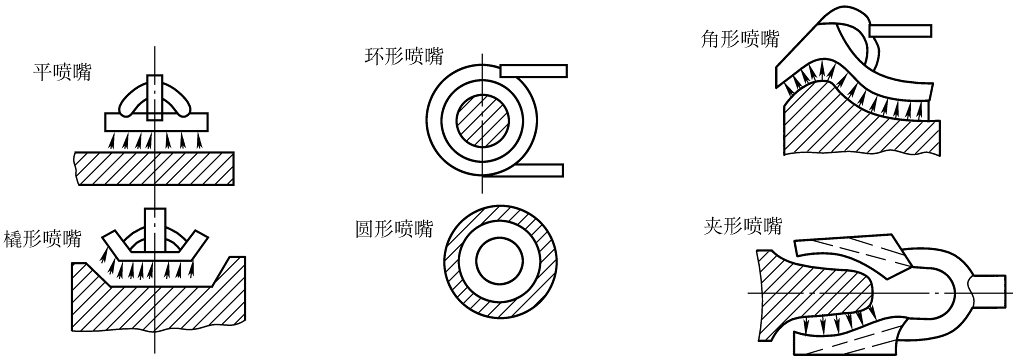


图 2. 5-9　连续式淬火用喷嘴类型

按其火室内部结构不同又可分为直射式、中间调节式、反射式三种，如图 2. 5-10 所示。

同时加热淬火法用喷嘴通常为一字形，按其火孔形式不同可分为多嘴式、缝隙式和筛孔式，如图 2. 5-11 所示。

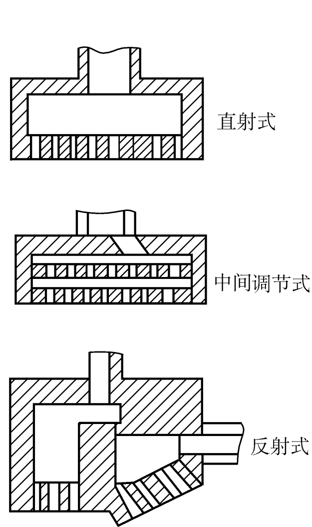


图 2. 5-10　喷嘴火室三种结构

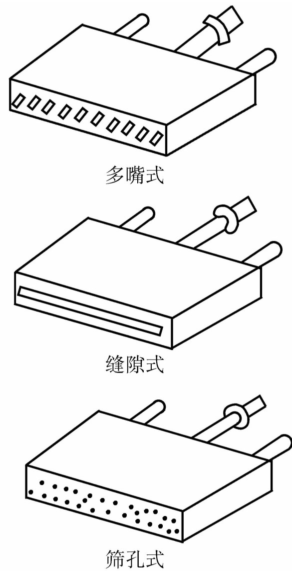


图 2. 5-11　同时加热喷嘴

火焰喷嘴结构由火室、水室、混合气三通、混合气分配管、冷却水分配管和喷嘴连接螺母等部分组成，一般用气焊组合在一起。有两室和三室两大类，两室喷嘴由火室、水室组成；三室由火室、压缩空气室、水室组成，如图 2. 5-12 所示。水室有冷却火室和喷冷工件加热表面的双重作用，火室形成火焰，有多孔式和缝隙式两种。多孔式在其工作面上钻有单排或多排火孔，水嘴工作面上也钻有单排或多排水孔，但有 15°～30°下倾角。压缩空气室工作面上一般钻一排气孔，也有 15°～30°下倾角。设计喷嘴时其基本参数有以下几种：

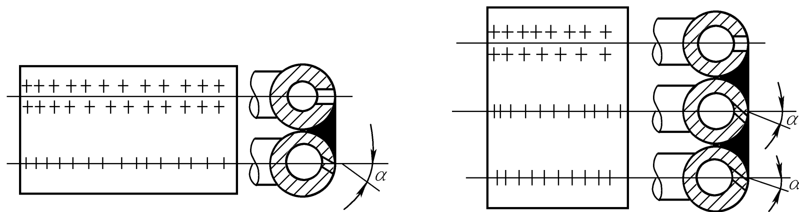


图 2. 5-12　两室和三室喷嘴结构示意图

①喷嘴宽度 B' 和火焰带宽度 L。当工件为一平面时，则 $B'=B$，$L=B'-(5\sim8)$ mm。当工件为槽形时，则 $B'=B-16$mm（B 为工件或槽的宽度）。

②火孔直径 d 和火孔排数 N。d 可取 $\phi0.4\sim\phi1.0$mm，火孔排数 $N=2$ 或 $N=3\sim4$。采用小孔多排喷嘴火焰稳定，不易回激。

③火孔间距 f 和火室壁厚 b。一般 $f=(3\sim6)d$[单排时 $f=(3\sim3.2)d$，双排时 $f=(3.6\sim6)d$，排距 $l=2\sim4$mm]，$b=(3\sim4)d$，b 一般不小于 2mm。多排火孔布置要交叉分布。

④火孔总数 n。如为两排时，$n=2\left(\dfrac{L}{f}\right)+1$。

⑤火孔与水孔间距 H。一般 $H=12\sim18$mm。

⑥火孔与压缩空气间距 H_1。一般 $H_1=12\sim15$mm。

⑦压缩空气孔与水孔间距 H_2。一般 $H_2=10\sim20$mm。

⑧水孔直径 d_2 和压缩空气孔直径 d_3。一般 $d_2=d_3=\phi1.0\sim\phi1.5$mm。孔距应2倍于孔径，水孔为单排或多排，水孔总面积应大于火孔总面积一倍以上。

⑨水孔与压缩空气孔的轴线下倾角 α。分别为 $15°\sim30°$和 $10°\sim15°$。

⑩混合气体连接管内径。一般为 $\phi8\sim\phi10$mm；气体分配管内径一般为 $\phi7\sim\phi8$mm；火室内径或宽度一般为 8～10mm。

设计喷嘴时，要注意喷嘴与火孔总面积，或乙炔消耗量与喷枪混合室相适应，以防供气不足而回激或火焰不稳定影响质量。

喷嘴计算步骤因淬火方法不同而异。如采用连续加热淬火法，可先按淬火面宽度决定喷嘴宽度，然后按上述参数确定火孔总数，再计算乙炔消耗量或火孔面积，进而选取合适的混合室。如选用快速旋转前进法，应先选择最大号的混合室，按照混合室乙炔消耗量或其通道截面积计算出可能允许的最多火孔数，推算出喷嘴最大宽度，再根据工件周长确定喷嘴个数，最后核算乙炔需求量，进而选择相应的乙炔发生器或乙炔瓶或输气管道等。

设计计算方法有两种：

①经验计算法。采用以下公式：

$$W\geqslant K\omega n$$

式中 W——各号混合室乙炔消耗量（L/h），其值可查有关手册；

ω——每一火孔的乙炔耗量（L/h），其值可查有关手册；

n——喷嘴火孔总数；

K——储备系数，一般为5/3，当孔径为 $\phi0.4\sim\phi0.5$mm 时，K 值取5/4。

②等面积法。原则是火孔总面积应小于混合室孔径的截面积。

多孔式可用公式：$d_z^2=nd^2, n_1=(80\%\sim90\%)n$

缝隙式可用公式：$\frac{\pi}{4}d_z^2=ab_1, b_1=(80\%\sim90\%)b$

式中 d_z——混合室直径；

d——火孔直径；

n——火孔的理论个数；

n_1——火孔的实际个数。

a——火孔的缝宽；

b——火孔的理论缝长；

b_1——火孔的实际缝长。

（3）火焰淬火工艺控制

1）火焰淬火加热温度。固定式或旋转式火焰加热，表面温度取决于加热时间，时间愈长，表面温度愈高。连续顺序加热，工件表面温度取决于工件与火焰喷嘴间的相对移动速度。火焰喷嘴与工件间的距离对工件表面温度也有很大影响。火孔所在平面至工件表面的距离称加热距离。一般工件表面应处于焰心顶端 2～3mm 处，但焰心长短与火孔直径和气体压力有关。火孔直径和气体压力愈大，火焰长度愈长，加热距离也愈长。当火孔直径为 $\phi0.4\sim\phi0.5$mm 时，加热距离为 8mm 左右；孔径为 $\phi1.0\sim\phi1.2$mm 时，可取 10～12mm。

2）火焰淬火硬化层深度。硬化层深度取决于一系列工艺因素，采用固定法或旋转加热法时，

控制加热温度和加热时间即可控制硬化深度。但采用连续加热淬火法时，影响因素就复杂得多，这些因素主要有：

①氧气压力。氧气压力增高，硬化层深度将增大，但超过峰值后，再增加氧气压力，硬化层深度反而降低，火焰强度有一最佳氧乙炔比值，即1.15～1.25。

②喷嘴或工件移动速度。移动速度愈大，硬化层深度愈小，反之愈大。一般移动速度取140～150mm/min时，可获得2.5～3mm硬化层深度。喷嘴火孔直径大小又对移动速度有影响，孔径大者，移动速度要大些，反之要慢些。

③火孔与水孔的间距。此间距也有一最佳值，太大、太小均使硬化层深度降低，一般以10～20mm为宜，最小不超过3.5mm。水孔还应有15°～30°下倾角，以防水滴飞溅影响火焰的稳定性。

④火焰加热速度。火焰加热速度取决于火焰功率，功率越大，加热速度越快，而火焰功率又取决于喷嘴尺寸和单位气体消耗量。单位气体消耗量可从有关手册中查出。

（4）冷却介质。火焰加热后的工件必须立即冷却才能获得一定深度的硬化层。冷却方法取决于所采用的火焰淬火方法，选用冷却介质取决于材料成分、工件的形状、尺寸。碳素结构钢可用水冷，低合金结构钢可用油冷，高合金钢或大型工件则采用压缩空气冷却，小件可用聚乙烯醇水溶液。喷冷所用冷却介质的温度、压力、流量又是影响冷却能力的因素，也应加以控制。

（5）火焰淬火后的回火。火焰淬火后应及时回火，以消除淬火应力，防止裂纹形成。回火温度和时间取决于工件材料的化学成分和热处理技术条件，可查有关手册。

（6）火焰淬火回火后的附属工序。火焰淬火回火后，尚需对工件进行校正、消除校正应力的处理、清理等附属工序，以达到工件的热处理技术要求。

综上所述，火焰淬火回火处理工艺是一个多因素过程，包括处理方法、喷枪的选择、喷嘴的设计、工件的装夹、火焰特性、焰心至工件表面的距离、喷嘴或工件的移动速度、冷却方式、冷却介质种类、冷却介质的温度、压力、单位气体消耗量、气体压力和流量、加热温度和时间、回火温度和时间等，均对火焰淬火回火质量产生影响，故本标准第5章规定了诸项内容，对上述工艺因素提出了基本要求；考虑到企业情况不一，因素多变，未提出具体工艺参数，留待企业根据标准规定，再制定工艺规程，工艺卡等。又因火焰淬火工艺因素多变的特点，故提出5.4.2。对已确定的工艺规范和喷嘴尺寸需经生产验证后方能投产使用。并规定工艺过程的记录制度，以便正确分析生产中出现的质量问题。

（7）火焰淬火回火安全技术。乙炔为爆炸性危险气体，当其温度超过300℃、压力增至0.15～0.2MPa时会爆炸。乙炔与空气、氧气混合，也有爆炸性，当空气中乙炔的体积分数达2.8%～8%时或氧气中乙炔的体积分数达2.8%～9.3%时，只要有明火，就会立刻爆炸。乙炔与铜、银长期接触会产生一种爆炸性化合物，即乙炔铜、乙炔银，当受到剧烈振动时，或加热到110～120℃时就会爆炸。故使用乙炔气体必须采取安全措施。利用乙炔能大量溶于丙酮的特点，可将乙炔溶入装有丙酮和活性炭的乙炔罐中储存或运输。乙炔气体利用水（H_2O）与电石（CaC_2）反应制取。1kg电石的乙炔发气量为340L，电石常用粒度为15～80mm。禁止使用粉末状电石，以防被水强烈分解，发生过热而爆炸。乙炔瓶必须装有安全阀、减压器；管道输送要限制管径不大于ϕ50mm，管道工作压力控制在0.01～0.15MPa范围内，流速应控制在800mm/s以下，使用乙炔发生器时要装逆止阀，乙炔发生器、乙炔瓶、乙炔汇流排等要与工作场地保持一定距离，并应相互隔离，且不能与氧气瓶，氧气汇流排放在一起。

氧气是助燃气体，多以高压瓶装运输和使用，如受剧烈碰撞也易引起爆炸。氧气瓶应在阴凉处直立放置，应装有瓶阀和减压阀，严禁油脂污染。

综上所述，为保证全面质量管理，实现安全生产，本标准规定了表9中的各项要求，作为企业

制定火焰淬火安全技术规程的依据。

（8）工件的质量

1）质量标准。正常情况下，处理后应达到图样技术要求，即表面硬度、硬化层深度、金相组织、畸变量、以及其他力学性能等均应达到图样要求。如果处理不当，火焰淬火后也会出现某些缺陷，如硬度不足、硬度不匀、硬化层深度不足、金相组织不正常、淬火裂纹、放置开裂、烧伤、淬火畸变等。故本标准对处理后的外观、表面硬度、有效硬化层深度、硬化区范围、金相组织、畸变量等均提出具体规定，作为火焰淬火回火处理件质量标准。

2）关于质量检验标准数据的验证。本标准表 10、表 11、表 12、表 13 的数据，是参照日本 JIS B 6912 及结合我国情况确定的，且与我国 JB/T 9201《钢铁件的感应淬火回火处理》取得一致。对表 10 硬度波动的验证结果如下：

采用 45 钢冲击试样缺口背面火焰连续加热并水冷淬火，采用机械推进法。按重要件硬度 > 50HRC，单件测 10 点，验证数据如表 2. 5-1。

表 2. 5-1　重要件单件硬度值验证数据

点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	最高	最低	波动
HRC	60	58	60. 5	60	57. 5	60. 5	56. 5	60. 5	58	60	59. 15	60. 5	56. 5	4

重要件硬度≤50HRC 同一批（3 件）各测 10 点验证数据见表 2. 5-2。

表 2. 5-2　重要件同一批各测 10 点验证数据

试样 \ HRC \ 点数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	最高	最低	波动
1	48	46	49	46	44	44	46	49	48	46	46. 6	49	44	5
2	44	46	44	49	45	48	45	49	48	48	46. 6	49	44	5
3	46	49	48	49	48	46	44	45	44	48	46. 6	49	44	5

对硬化层深度波动范围的单件验证结果见表 2. 5-3。

表 2. 5-3　对硬化层深度范围的单件验证结果

点数	1	2	3	4	5	平均	最高	最低	波动
深度/mm	2. 0	2. 1	2. 15	2. 0	2. 2	2. 09	2. 2	2. 0	0. 2

验证结果表明，标准中表 10 ~ 表 13 中的数据是可以达到的，但与我国现行火焰淬火回火工艺水平相比，表中的要求是相当严格的，各企业只有进一步提高火焰淬火工艺水平，才有可能达到表中的数据要求。

（9）质量检验

1）检验项目。本标准第 7 章规定检验项目为表面缺陷、硬度、有效硬化层深度、金相组织、畸变量 5 个方面。

2）检验方法。本标准规定检验取样应在火焰淬火回火处理的工件上取样，如取样困难时，也可以采用模拟试样。

关于缺陷检验，我国多数企业采用无损检测法，包括超声波、磁粉、着色等检测法。本标准规定采用了此三种无损检测，按相应标准进行；针对不太重要的工件或作为上述无损检测的辅助方法而采用肉眼观察。

本标准规定按相应标准采用洛氏、维氏、肖氏硬度法检验硬度值。对大型工件无法用以上硬度

计检验硬度时，允许采用超声波硬度计或里氏硬度计检验硬度。

（10）产品报告单　标准第9章规定了产品报告制度，这是参照国外标准列入的一项内容。我国多数企业尚未实行这种制度，从全面质量管理角度看来是必要的。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 9200—2008）

钢铁件的火焰淬火回火处理

1　范围

本标准规定了钢铁件的火焰淬火回火的质量控制及劳动保护的基本要求。

本标准适用于钢铁件的火焰淬火后，在加热设备中进行回火的处理，也适用于火焰淬火自热回火的处理。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 224　钢的脱碳层深度测定方法

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）[GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999 Metallic materials—Rockwell hardness test—Part 1：Test method（scales A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T），MOD]

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 4341　金属肖氏硬度试验方法（GB/T 4341—2001，eqv JIS Z2246：1992）

GB/T 5617　钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定（GB/T 5617—2005，ISO 3754：1976，NEQ）

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定方法（GB/T 6394—2002，ASTM E112：1996，MOD）

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

JB/T 4009　接触式超生纵波直射探伤方法

3　工件

3.1　工件材料

推荐钢铁材料见表1。

表1　钢铁材料

类　别	牌　号
碳素结构	30，40，45，50，55，60 35Mn，40Mn，45Mn，50Mn，60Mn
合金结构钢	35Mn2，40Mn2，45Mn2，50Mn2，60Mn2 35SiMn，42SiMn 40B，45B，50 40MnB，45MnB，40MnVB 35Cr，40Cr，45Cr，50Cr 35CrMo，42CrMo，35CrMoV，40CrV 40CrMn 40CrNi，45CrNi

（续）

类　别	牌　号
弹簧钢	65，65Mn，55SiMn，60Si2Mn，55SiMnB
铬轴承钢	GCr6，GCr9，GCr15，GCr9SiMn，GCr15SiMn
低淬透性含钛优质碳素结构钢	55Ti，60Ti
碳素工具钢	T7，T8，T8Mn，T9，T10，T11，T12
合金工具钢	9SiCr，9Mn2V，5CrMnMo，5CrNiMo
不锈钢	12Cr13，20Cr13，30Cr13，40Cr13
耐热钢	42Cr9Si2，40Cr10Si2Mo
铸钢	ZG270-500，ZG310-570，ZG340-640 ZG40Mn，ZG50Mn；ZG50Mn2 ZG40Cr，ZG50CrMo，ZG35CrMnSi ZG35SiMn
铸铁	HT200，HT250，HT300，HT350 KTZ450-06，KTZ550-04，KTZ650-02，KTZ700-02 QT400-18，QT400-15，QT450-10，QT500-7，QT600-3，QT700-2，QT800-2，QT900-2

3.2　处理前工件的原始材料

处理前工件的原始材料见表2。

表2　原始材料

序号	项　目	说　明
1	材料的牌号、炉号及试验数据 钢铁的牌号 熔炼炉号 化学成分① 拉伸试验数据① 淬透性试验数据① 金相组织试验数据①	 晶粒度、脱碳层深度、碳化物、非金属夹杂物、显微镜及低倍组织
2	材料供货状态 铸造 热锻 轧制 冷拔	 冷或热
3	处理前加工方法 冷、温锻造 冲压 滚压 过盈装配 焊接 切削方法	 冷或热 冷或热 冷或热 焊接部位 必要时注明进给量
4	校正 预备热处理类型 正火 正火回火 完全退火 球化退火 去应力退火 调质	冷或热及校正量 并注明硬度 并注明硬度 并注明硬度 并注明硬度 并注明硬度 并注明硬度

①　这些项目的一般件可部分或全部省略。

3.3　处理前工件的外观、尺寸及表面状态

处理前工件的外观、尺寸及表面状态见表3。

表3　处理前工件的外观、尺寸及表面状态

序号	项　　目	说　　明
1	外观	有无裂纹、伤痕、锈蚀、黑皮、毛刺及油污
2	处理部位的形状 特殊形状 截面悬殊 孔的形状及位置	一般件可附简图
3	尺寸及精度 处理部位的加工余量 整体的加工余量 尺寸公差① 形状公差① 位置公差①	主要指直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度及面轮廓度 主要指平行度、垂直度、倾斜度、位置度、同轴度及对称度
4	处理部位的表面粗糙度	
5	清理方法①	喷砂或喷丸
6	防锈剂的种类①	

①　这些项目的一般件可部分或全部省略。

3.4　处理前工件的验收

在接受待处理件时，应按3.2、3.3规定的项目验收。

4　处理设备

4.1　供气装置

4.1.1　燃烧气体供给装置，不论是乙炔发生器、乙炔汇流排，或是燃气贮气罐，必须配有输出控制装置、压力计和安全阀。在稳定状态下输出燃烧气体的压力应控制在$0.9\times10^5\sim1.1\times10^5$Pa范围内，温度不高于60℃。乙炔发生器的水温不高于40℃。

4.1.2　氧气瓶和氧气汇流排应装有压力计和减压阀，在稳定状态下输出氧气压力应控制在$2\times10^5\sim3.5\times10^5$Pa（适于小件）和$5\times10^5\sim15\times10^5$Pa（适于大件）范围内。氧气瓶压力应为$210\times10^5$Pa。

4.2　测温装置

处理重要件时，测温元件应为光电高温计或便携式红外辐射温度计。

4.3　淬火冷却设备

淬火冷却槽应有足够的容量，并应配备适当的循环装置及温度调节装置。浸液淬火的冷却槽中应配备具有一定流速的搅拌装置或具有同样效果的装置。

4.4　淬火机床

根据工件的形状、大小，可设置适当的一次式淬火机床或移动式淬火机床，或其他适合于处理部位形状的淬火机床，但均应具有表4规定的精度。

表4　淬火机床的精度

检验项目	精　　度
主轴锥孔径向圆跳动①	0.3mm
回转工作台面的圆跳动②	0.3mm

（续）

检验项目	精　　度
顶尖连线对滑板移动的平行度	0.3mm（夹持长度≤2000mm）
工件进给速度变化量③	±5%

① 将检验棒插入主轴锥孔，在距主轴端面300mm处测量。

② 装上直径大于300mm的圆盘，在半径150mm处测量。

③ 测量工作习惯行程300mm的平均速度。

4.5　回火设备

4.5.1　回火加热设备有效加热区的温度偏差应符合表5的规定。

表5　回火加热设备有效加热区的温度偏差　（单位：℃）

序　　号	允许温度偏差	适用范围
1	±15	重要件
2	±20	一般件

4.5.2　应配备能跟踪回火温度与时间关系的自动记录装置，其热电温度测定装置的指示器经校正后温度读数的总误差应符合表6的规定。

表6　温度指示器的总误差　（单位：℃）

预定温度 t	≤400	>400
温度指示器总误差	±4	≤t/100

4.6　设备的保养

应遵守操作规程和维修保养制度，并保存有关记录，保证设备的精度和使用性能。

5　处理方法

5.1　处理方法的确定

处理前工件验收合格后，应根据钢种、热处理目的、表面质量及性能要求、使用的处理设备、处理后的加工等具体条件，选择合适的处理方法。

5.2　喷射器、火焰喷嘴、冷却水嘴及夹具的检查

应检查喷射器、火焰喷嘴、冷却水嘴及夹具有无损坏、变形等。火焰喷嘴和冷却水嘴的火孔、水孔不应有脏物堵塞。

5.3　工件的装夹

在处理过程中，工件与火焰喷嘴、冷却水嘴应保持正确的相对位置，不应有偏心和倾斜。

5.4　淬火工艺规范的制定

5.4.1　处理方法确定后，必须按表7所规定的各项工艺参数确定具体的数值。

表7　淬火工艺规范参数

序号	项　　目
1	火焰特性和火焰焰心①至工件表面的距离
2	加热喷嘴与工件的相对移动速度
3	淬火方法和介质
4	淬火冷却介质的温度、压力、容积
5	每个工件或每单位处理表面积的气体（燃烧气、氧气）的消耗量
6	每个表面淬火工件所需要的加热时间
7	加热周期结束到淬火冷却开始的间隔时间
8	淬火和回火的温度范围

① 火焰淬火采用中性焰，它由焰心、内焰、外焰三部分组成。焰心是一个光亮的蓝白色小圆锥体，位于喷嘴出口处。

5.4.2　所确定的火焰淬火工艺规范和火焰喷嘴及冷却水嘴，须经试验验证。

5.4.3　根据工件材料种类、形状、尺寸选用适当的淬火冷却介质及其压力和流量。水、油和聚合物水溶性淬火冷却介质的常用温度范围见表8。

表8　水、油、聚合物水溶性淬火冷却介质的温度范围

淬水冷却介质	水	油	聚合物水溶性淬火剂
温度范围/°C	15～35	40～80	20～40

5.5　回火工艺规范的制定

5.5.1　根据工件的材料、硬度或图样要求，确定回火温度和回火时间。

5.5.2　经表面淬火后的工件应及时回火，其间隔时间不大于4h。

5.6　附属工序

5.6.1　淬、回火后对工件进行校正时产生的残余应力，应不影响以后的机械加工质量和使用性能。必要时，校正后应进行不高于回火温度的处理。

5.6.2　处理后对工件进行清理时，不应使其受到腐蚀及其他有害影响。

5.7　处理情况的记录

处理方式、工艺参数、质量检验结果均应有记录及操作者签名，并保存一定期限。

6　处理后工件的质量

处理后工件的质量应达到有关技术标准或图样的要求，并要保证误差在允许范围内。

6.1　外观

表面不应有过烧、熔化、裂纹等缺陷。

6.2　表面硬度

表面硬度的范围应符合表9、表10、表11的规定。

注：表中硬度值均为实测数值，其波动范围没有直接换算关系。同一批件指在相同工艺条件下处理的一批相同的工件。

表9　洛氏硬度波动范围

工件的类型	表面硬度　HRC			
	单　件		同一批件	
	≤50	>50	≤50	>50
重要件	≤5	≤4	≤6	≤5
一般件	≤6	≤5	≤7	≤6

表10　维氏硬度波动范围

工件的类型	表面硬度　HV			
	单　件		同一批件	
	≤500	>500	≤500	>500
重要件	≤55	≤85	≤75	≤105
一般件	≤75	≤105	≤95	≤125

表11　肖氏硬度波动范围

工件的类型	表面硬度　HS			
	单　件		同一批件	
	≤80	>80	≤80	>80
重要件	≤6	≤8	≤8	≤10
一般件	≤8	≤10	≤10	≤12

6.3 有效硬化层深度

有效硬化层深度的波动范围不允许超过表 12 的规定。

表 12 有效硬化层深度的波动范围

有效硬化层深度	深度的波动范围/mm		有效硬化层深度	深度的波动范围/mm	
	单 件	同一批件		单 件	同一批件
≤1.5	0.2	0.4	>3.5～5.0	0.8	1.0
>1.5～2.5	0.4	0.6			
>2.5～3.5	0.6	0.8	>5.0	1.0	1.5

6.4 硬化区范围

硬化区范围按图样或有关技术文件规定的表面硬化区而定，必须规定合理的允许偏差。

整体表面淬火的板件，其非淬硬边缘和轴件的非淬硬端部不大于 10mm。

大型工件允许留软带，其宽度不大于 10mm，软带间距应大于 100mm。

6.5 金相组织

淬火部位的金相组织，根据工件的材料和性能要求应为正常的淬火组织，或淬火回火组织。

6.6 畸变

处理后工件的畸变量应不影响以后的机械加工质量和使用性能。具体工件允许的畸变量由有关双方协商确定。

7 质量检验方法

7.1 取样

取样应用处理后的工件，取样困难时，可以采用模拟试样。

7.2 缺陷检验

裂纹、伤痕的检验采用放大镜肉眼鉴定，或按 JB/T 4009 进行超声波检测。

7.3 硬度检验

硬度应符合 GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341 的规定。对大型工件可采用超声硬度或便携式里式硬度计检验。

7.4 有效硬化层深度测量

有效硬化层深度应符合 GB/T 5617 的规定。

7.5 金相组织检验

晶粒度、脱碳、马氏体级别等的检验应符合 GB/T 6394、GB/T 224、GB/T 5617 的规定。

7.6 畸变测量

测定畸变可以用百分表、直尺、塞尺或其他适当仪器、仪表进行。

8 安全技术要求

8.1 操作时必须遵守 GB 15735。

8.2 生产现场安全技术规程应包括表 13 规定的各项主要内容。

表 13 生产现场安全技术规程

序号	项 目	序号	项 目
1	氧气瓶、燃烧气体装置的放置和间隔	5	点火、闭火程序
2	检查氧气瓶和燃烧气体装置管道系统的方法	6	工作现场的防爆措施
3	燃烧气体在使用时的稳压措施	7	燃烧装置的防爆措施
4	氧气和燃烧气体管道接头的安全措施		

9　产品报告单

产品报告单应包括下列内容：

——工件名称或图号；

——工件的材料；

——工件的数量及重量；

——质量检验结果及结论；

——检验员姓名或代号；

——处理日期：　年　月　日。

第六节　钢铁件激光表面淬火

一、概论

随着20世纪70年代中期大功率激光器的问世并投入工业生产，激光加工技术得到迅速发展。激光表面淬火是其中研究最早、应用面最广、技术最为成熟的激光表面改性技术。

激光表面淬火技术的研究和应用工作始于20世纪70年代。20世纪70年代初，美国通用汽车公司Saginaw转向器分厂在世界上首次将激光表面淬火应用于工业化生产——汽车转向器壳体的表面硬化；1978年，通用汽车公司又建成了EMD柴油机气缸套激光表面淬火生产线。20世纪80年代，我国首先在发动机缸体及缸套上实现了激光表面淬火技术的工业应用，并得到快速发展。激光表面淬火工艺现已广泛应用于发动机缸体（套）、内燃机曲轴、机床导轨、传动齿轮、纺机零件、柱塞、轧辊等耐磨件的表面强化处理。与普通淬火相比，激光表面淬火的硬度普遍提高15%～20%，耐磨性及使用寿命大幅度提高，它已成为一些零件不可替代的表面强化处理方法。

虽然激光表面淬火技术已有较为广泛的应用，但国内外一直没有一项行业中普遍遵循的技术规范和验收条件，严重制约了该项技术的发展。本标准的制定和实施，对规范生产加工及检验验收过程将会起到积极的作用。

到目前为止，我们未能收集到国内外有关激光表面淬火及与此相关的标准，只有一些企业生产过程中的技术要求，这给制定本标准带来了很大的困难。在制定本标准的过程中，我们曾在国内做了大量的调研工作，考虑到激光表面淬火工艺与钢铁件感应淬火或火焰淬火有相似之处，同属于表面硬化，在本标准制定过程中主要参考了GB/T 5617《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》、GB/T 9451《钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定》等标准，并查阅了大量的资料，针对开展该工艺的有关企业的工艺技术及具体情况进行了分析，结合实际工作制定了本标准。

二、标准应用说明

1. 技术特点

激光表面淬火是20世纪后期发展起来的一项新型表面强化技术。它是采用高能量密度的激光束照射工件表面并快速移动，使工件表层吸收热量后迅速升温至相变点之上，在光束移开后，因表层与基体间存在巨大的温度梯度，致使表层产生自淬火过程，从而实现表层马氏体相变。一般来讲，激光表面淬火时激光束的功率密度达10^4～10^5W/cm^2，冷却速度达10^4～10^6℃/s。激光加热的特点为激光表面淬火件带来了一系列有别于其他表面淬火工艺的性能：组织细化，硬度提高；热影响区小，工件变形减少；自冷淬火，减小了冷却介质的污染。同时，激光加热指向性好的特性，又

为局部加工和特殊部位（如深孔、内壁等）的加工提供了便利条件。

激光表面淬火是一种局部的表面处理方法，与其他一些表面处理方法和常规处理方法比较，有其独特的优点，它所包含的内容是丰富的，应用前景也是广阔的。但是激光表面淬火的局限性也较明显，它只适用于一些需要局部表面硬化的零件，因而就有一个适于选择激光硬化工艺的零件范围，通常是对一些不要求整体淬火，尺寸精度要求较高，或采用其他方法难以处理，以及形状复杂或需进一步提高硬度、耐磨性等性能的工件进行激光表面淬火处理。

2. 适用范围

本标准规定了钢铁件进行激光表面淬火时对激光加工系统的一些特殊要求，列举了工件的常用原始状态，规定了激光表面淬火的工艺控制、质量检验与劳动保护的基本要求。本标准适用激光表面淬火加工生产和质量检验。

3. 关于激光器类型的选择

激光器是进行激光表面淬火最基本的条件。激光是受激发射的光放大产生的辐射，是一种高亮度、高方向性、高单色性和高相干性的新型光源。光波在激光器谐振腔内的反射镜之间多次衍射传播形成稳定的电磁场，这个电磁场具有一系列一定振荡频率和一定空间分布的分立的本征空间状态，这种可能存在的电磁场的本征态称为激光的模式。一般来讲，在生产过程中，人们主要关心光波场在传播方向横截面内的分布——横模，横模即代表了激光束横截面方向的能量分布。激光束的模式有基模、低阶模和多模几种，目前国内用于激光表面淬火的大多数为多模输出的 CO_2 激光器。YAG 激光器因受淬硬层深度的限制，其发展受到一定影响。近两年，由于技术人员的努力，YAG 激光淬火硬化层较浅的问题已有较大改善。因此，本标准中仍将 YAG 激光器作为激光淬火的选用设备之列。YAG 激光器的能量应连续输出，脉冲激光在激光淬火中的实际应用较少。

4. 激光表面淬火工件的原始组织及淬火后的组织特征

不同的原始组织，将对硬化层的硬度、深度、宽度及组织均匀性造成影响。由于激光表面淬火是在急热、急冷条件下完成的，奥氏体化过程非常快，原始组织的均匀性直接影响奥氏体化质量，因此，一般希望激光处理前的原始组织晶粒细小、均匀。根据材料的种类及性能要求，可选择退火、正火、调质或淬回火作为预备热处理。对残留奥氏体量较大的高合金钢，还应考虑进行后续回火处理。

表 2. 6-1 列出了一些典型材料的激光表面淬火层组织。

表 2. 6-1　典型材料的激光表面淬火层组织

材料		硬化区	过渡区	基体
钢种	牌号			
碳钢	20	板条马氏体	马氏体 + 细化珠光体	珠光体 + 铁素体
	45	细小板条马氏体	马氏体 + 屈氏体（调质态） 隐针马氏体 + 屈氏体 + 铁素体（退火态）	珠光体 + 铁素体
	T10	针状马氏体 + 残留奥氏体	马氏体 + 屈氏体 + 渗碳体	珠光体 + 渗碳体
合金钢	42CrMo	隐针马氏体	马氏体 + 回火索氏体 + 珠光体	珠光体 + 铁素体
	GCr15	隐针马氏体 + 合金碳化物 + 残留奥氏体	隐针马氏体 + 回火屈氏体 + 回火索氏体 + 合金碳化物	回火马氏体 + 合金碳化物 + 残留奥氏体
	W18Cr4V	隐针马氏体 + 未溶碳化物 + 残留奥氏体	隐针马氏体 + 回火索氏体 + 回火屈氏体 + 碳化物颗粒	回火马氏体 + 合金碳化物 + 残留奥氏体

（续）

材料		硬化区	过渡区	基体
钢种	牌号			
铸铁	HT200	马氏体+残留奥氏体+未溶石墨带	马氏体+珠光体+片状石墨	珠光体+片状石墨+少量磷共晶
	QT600-2	马氏体+残留奥氏体+球状石墨	马氏体+珠光体+球状石墨	珠光体+球状石墨

5. 体积效应与表面效应

由于激光表面淬火是依靠自激冷却实现材料的硬化，因此，作为需快速吸收淬火加热热量的基体，必须有足够的体积，特别是大面积淬火件，若基体温升过高，温度梯度下降，势必影响淬火效果，在这种情况下，就得考虑对工件进行冷却，或是进行间隔淬火。

表面状态对激光表面淬火影响很大。表面越光洁，激光的反射率越高，工件吸收的激光能量越低，淬火效果越差；金属对激光能量的吸收率与激光束的波长成反比。另外，随着温度升高，材料的吸光能力会不同程度地提高。对波长较长的 CO_2（波长 10.6μm）激光和 YAG（波长 1.06μm）激光，光束与金属材料的耦合性能较差，表面的激光反射率很高，一般不能直接进行激光表面淬火，必须先进行表面预处理，以提高材料对激光能量的吸收能力。

对工件进行预处理（又称黑化处理），就是在需要激光表面淬火的部位涂覆一层对激光有较高吸收能力的涂料或覆层，这些涂覆层对激光的吸收率一般应达到85%以上，且涂覆方便，热传导率高，与金属的附着性好，无毒，不易分解，便于处理后清洗或不需清洗即可直接装机使用。表面预处理方法有磷化法、氧化法、喷（刷）涂料法、镀膜法多种，常用的是磷化法和喷（刷）涂料法。磷化处理是许多机械零件加工的最后一道工序，也可作为激光表面淬火前的表面预处理，它分为高温、中温和室温三种磷化方式，一般认为高温磷化和中温磷化的效果较好。磷化法适用于大批量零件的预处理。

采用喷（刷）涂料进行激光表面淬火前的预处理简单方便，既便于大规模生产，也可用于单件的局部处理。涂料由骨料、粘合剂、稀释剂等组成。常用的骨料有石墨、炭黑、活性炭、磷酸盐、金属与非金属氧化物、硫化铁等，甚至可用碳素墨水、墨汁、无光漆作为预处理剂；粘合剂以各种树脂及水玻璃为主；稀释剂是一些易挥发的溶剂，如乙醇、香蕉水、乙酸乙酯等。下面是几种涂料的配方：

1）细石墨粉（粒度 <1μm），丙烯酸树脂，云母粉，丙酮。

2）碳素墨水，磷酸锰。

3）水玻璃 20g，氯化铵 0.2g，活性炭（200 目）30g，炭黑 10g，水适量。

4）磷酸锰（或磷酸锌），磷酸。

5）氧化硅（200～300 目），醇基酚醛树脂，稀土氧化物 5%～10%（质量分数），乙醇。

6）Q04-2 磁漆 100mL，乙酸乙酯 100m。

不同表面状态对激光的吸收率见表 2.6-2。

表 2.6-2　金属材料部分预处理涂覆层对激光的吸收率

涂覆层	吸收率（%）								备注
	15MnVN	合金铸铁	42CrMo	20 钢	T10	20Cr	不锈钢	铝合金	
非常粗糙加工面				20.3	45.3	16.7	68.4		
磨加面	11	15	9						

（续）

涂覆层	吸收率（%）								备注
	15MnVN	合金铸铁	42CrMo	20 钢	T10	20Cr	不锈钢	铝合金	
抛光面				4	19.4	6	23.5		
高温磷化（磷酸锰铁）	96	96	95						98～100℃
中温磷化（磷酸锰铁）	50	70	88						55～70℃
室温磷化（磷酸锌）	60	56							17℃
中温磷化（磷酸锌）			99						55～70℃
高温磷化（磷酸锌）	98	98	98						98～100℃
刚玉粉	91								
石墨	95	92	93						
乌光漆	91	89	94						
碳素墨水	91	91	92						
普通墨汁		82	82						
氧化锆				90.1	92.1	80.2	89.6		
氧化钛				89.3		89.3			
磷酸锰				88.9		88.3			
氧化铝								81.9	
磷酸镁					80		80		
硫化铁							80		

6. 搭接系数的提出

受激光束尺寸的限制，在大多数情况下进行激光表面淬火不是经过一次扫描就可以完成的，而是通过一定宽度的能量束在工件表面逐行扫描得以实现。当工件需要的淬火面积较宽时，一条扫描带不足以对整个强化面淬火，需两条或两条以上扫描带搭接在一起，才能将所需淬火面积覆盖住，但是每两条扫描带之间的搭接量对硬化层质量有较大影响，后一扫描带的热影响区将会对前一道淬火层产生回火作用，致使两条扫描带之间出现硬度下降的软化带。另一方面，由于激光束能量分布及自淬火冷却状态的影响，在横截面上，硬化区总是呈现出外大内小的半椭圆形形状。因此，必须充分考虑两条扫描带搭接率（即搭接系数）的影响。搭接量小，硬化后底部的平整性差，搭接量太大又会造成软化带面积增加，影响硬度的均匀性。一般认为搭接系数定为5%～20%为宜。

7. 硬度试验方法的选择

硬度是材料抵抗硬物体的压入所表现的变形和破裂的抗力，抗力越大硬度值越高。所以硬度是材料的一种重要力学性能指标。硬度值既取决于材料的本性和表面处理方法，也与测试方法有着直接的关系。测试方法不同反映的硬度值也不同。由于激光表面淬火的硬化层较浅，在测量表面硬度时以维氏硬度法为宜，其他试验方法仅供参考。显微硬度与维氏硬度测量原理完全相同，只是前者的负荷更小［通常小于200gf(2N)］，所测压痕的宽度只有几微米到几十微米，因此显微硬度与维氏硬度一样也可作为研究激光表面淬火硬化层表面硬度的工具，而在测量硬化层深度时则需用显微硬度法。洛氏硬度等其他硬度试验方法，由于压痕较大，可能影响测量值的准确性，一般不宜采用，仅作为参考。

8. 硬化层深度及宽度的测量

根据激光表面淬火的特点，其淬火区被分为相变硬化区及热影响区（在金相显微镜下容易区

分）。相变硬化区的组织与普通淬火的组成相似，只是由于激光表面淬火时加热和冷却速度极快，使所得到的组织极为细小，硬度也较高，因此，该相变硬化区内的硬化层深度比较容易测量。而热影响区的情况比较复杂，随着材料成分的不同，原始状态的不同，工艺参数的不同，组织形态和区域大小以及性能都有着不同的变化，一般情况下热影响区的层深范围较小（厚度小于5mm的工件也会产生较大的区域）。对于原始状态为淬火态的材料，激光硬化后热影响区的组织一般为回火马氏体，其硬度值低于原始组织硬度，因此也将此区域称之为软化区；而对于原始状态为退火态、正火态及调质态的工件，热影响区的组织一般为马氏体+屈氏体+铁素体，为不完全淬火区，称之为半马氏体区，硬度比原始组织略高。因此，在标准中规定了总硬化层和有效硬化层两种硬化层的概念。

总硬化层深度较易定义，即从试样表面垂直测至热影响区的顶端（也就是月牙形的顶部）的距离。而有效硬化层深度的定义较难，为此我们参考了国内外的有关标准及许多试验数据，定义有效硬化层深度为从工件表面到维氏硬度等于极限硬度的那一层间的距离，而极限硬度为零件表面所要求的最低硬度的0.7倍。在GB/T 5617《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》中定义感应淬火和火焰淬火的极限硬度为最低硬度的0.8倍，因激光淬火较感应淬火和火焰淬火的硬度值高，相对于某一硬度的有效硬化层较深，故定义有效硬化层深度为最低硬度的0.7倍；同时，目前国内许多单位在进行激光淬火硬化层深度检测时，习惯将有效硬化层测至热影响区的1/2处，即半马氏体区，在硬度梯度曲线上位于硬度大幅度变化区域的中间，根据试验和对参考资料的分析，该点的硬度基本上与本标准定义的极限硬度值相吻合。

与上同理，激光表面淬火区也存在总硬化层宽度和有效硬化层宽度两个概念。

9. 关于显微硬度的测量方法

在GB/T 5617《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》及GB/T 9451《钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定》中，用显微硬度法测量硬化层硬度时，要求硬度测量的压痕范围为1.5mm。考虑到激光淬火带一般较窄，且底部为月牙形，选择1.5mm的宽度较难实施，同时也会影响测量值的准确性，因而将测量范围选定为0.5mm，并且，该值也远大于两相邻压痕之间的距离应大于压痕对角线2.5倍的要求。

总之，激光表面淬火是一项试验性很强的技术，影响因素很多，一些参数的测量值误差也较大，在选择工艺参数时，须充分考虑激光器类型、光斑形状、激光束传输特点、工件材质、原始状态、预处理方法、性能要求、工件尺寸及形状等因素，参照现有的一些激光工艺和经验数据，然后经试验验证，最终确定激光功率、光斑尺寸、扫描速度等工艺参数。（武汉材料保护研究所潘邻供稿）

三、标准内容（GB/T 18683—2002）

钢铁件激光表面淬火

0　引言

激光表面淬火是一项金属材料及零件表面快速强化的技术，可以提高表面硬度、强度、耐磨性，同时又使心部仍保持较好的综合力学性能。由于该工艺过程在局部快速加热及自淬火条件下完成，可极大地减少被淬火件的变形。

1　范围

本标准规定了钢铁件激光表面淬火设备的特殊要求，激光表面淬火常用钢铁件的原始状态，以及激光表面淬火的工艺控制、质量控制、质量检验与劳动保护的基本要求。

本标准适用于钢铁件激光表面淬火。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 1031　表面粗糙度　参数及其数值（neq ISO 468）
GB/T 3505　表面粗糙度　术语　表面及其参数（eqv ISO 4287）
GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（eqv ISO 6507）
GB/T 4342　金属显微维氏硬度试验方法
GB/T 7232　金属热处理工艺术语
GB/T 9790　金属覆盖层及其他有关覆盖层维氏和努氏显微硬度试验（neq ISO 4516）
GB 7247　激光产品的辐射安全、设备分类、要求和用户指南（idt IEC 825）
GB 10320　激光设备和设施的电气安全（eqv IEC 820）
GB 10435　作业场所激光辐射卫生标准

3 术语和定义

GB/T 7232 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　激光表面淬火　laser surface hardening

采用高功率激光束为能源以极快速度加热工件表面并以自冷硬化为主的淬火工艺。

同义语：激光相变硬化　laser transformation hardening。

3.2　激光功率密度 Q(W/cm^2)　power density of laser

激光束作用于工件表面的单位面积 S 上的激光功率 P。

$$Q=\frac{P}{S}$$

3.3　扫描速度（mm/s）　scanning speed

单位时间内激光光斑相对于工件移动的距离。

3.4　相变硬化区　transformation hardening zone

钢铁件在激光辐照下发生组织变化，其组成相与普通淬火所获得的相相似且硬度得到提高的区域。

3.5　热影响区　heat affecting zone

受激光辐照影响，在相变硬化区周围组织发生部分转变的区域。它既不同于相变硬化区，又不同于未发生相变的基体。

3.6　表面最低硬度（$HV_{最低}$）　the lowest hardness

工件表面所要求的最低硬度。

3.7　硬度极限（$HV_{极限}$）　hardness limit

表面最低硬度的函数，由下式求出：

$$HV_{极限}=0.7HV_{最低}$$

经有关各方协商，也可以采用其他的硬度极限值。

3.8　有效硬化层深度　effective depth of hardening

从工件表面到硬度等于硬度极限处的最大垂直距离。

3.9　有效硬化层宽度　effective width of hardening

单道激光扫描后，与扫描方向垂直的截面上，工件被处理表面硬度等于硬度极限的两点间的距离。

3.10　总硬化层深度　total depth of hardening

从工件表面到显微硬度或显微组织相对于基体材料无明显变化处的最大垂直距离。

3.11　总硬化层宽度　total width of hardening

单道激光扫描后，与扫描方向垂直的截面上，工件被处理表面显微硬度或显微组织相对于基体材料无明显变化的两点间的距离。

4　工件的材质及原始状态

4.1　工件的材质

凡能发生马氏体相变的材质均适合激光表面淬火。常用材质见附录 A。

4.2　工件激光淬火前的原始状态

a）工件激光淬火前的原始表面应无油污、无锈蚀、无毛刺、无氧化皮，能直接进行预处理及激光表面淬火。

b）工件的原始组织应均匀、细小。应根据材料的种类、成分、用途和性能要求选择退火、正火及淬火回火等预备热处理（见附录 A）。

5　基本技术要求及操作规范

5.1　对设备的要求

用于激光表面淬火的激光设备包括产生激光束的激光器，引导光束传输的导光聚焦系统，承载工件并使其运动的激光加工机，以及其他辅助装置。

5.1.1　激光器

不论是 CO_2 激光器还是 YAG 激光器，其输出功率、光束模式、扫描速度及光斑尺寸必须满足淬火工件的技术要求。

激光输出功率稳定性及激光光束模式对激光表面淬火效果影响很大，必须安装功率监控装置，并定期校验。用于激光表面淬火的 CO_2 激光器宜选用能输出多模光束的型号；或对光束模式进行处理，使其能量分布均匀。YAG 激光器的功率应能连续输出。

5.1.2　导光聚焦系统

应包括光闸、可见光同轴瞄准、光束传输及转向、聚焦（必要时还须配置扩束望远镜）等装置。

聚焦头中需有保护气体传输及水冷系统。

5.1.3　激光加工机

根据处理工件的形状选择二维、多维的自动或数控加工机床，以及适宜的其他设备。

5.1.4　激光器的辅助装置

a）屏蔽装置。为防止激光直接辐射或经工件反射、漫反射到工作人员身体及眼内造成伤害，加工场所必须设置适当的屏蔽装置。

b）对准装置。激光表面淬火时需确定扫描光束在被处理工件表面的行走路径，可用 He-Ne 激光器产生的红光或其他装置产生的可见光进行对准。

5.2　工件的表面预处理

为增强工件对激光辐射能量的吸收，在激光表面淬火前需在其表面形成一层对激光有较高吸收能力的覆层，一般采用磷化处理或涂覆含有各种吸光物质的涂料。

覆层的选择应满足下列要求：

a）能提高工件对激光能量的吸收率。

b）具有良好的热传导性能，处理前与工件附着性好，具有良好的化学稳定性。

c）对激光表面淬火层的成分、组织结构无影响。

d）覆层材料应不易诱发被处理材料表面裂纹。

e）涂覆工艺简便，覆层均匀。

f）有良好的防锈作用，对工件表面不腐蚀。

g）处理后容易清洗、去除或无须清洗即可装配使用。

h）易于存放、无毒害、无污染、无刺激。

无论预处理采用磷化还是喷刷涂料，均要求表面覆层均匀，厚薄控制适当，且全部覆盖需激光硬化部位。

5.3 工艺规范的制定

5.3.1 工艺制定原则

工件的材质、预处理条件、技术要求（硬度、相变硬化区及热影响区深度、处理前后的金相组织等）均应适合激光表面淬火的工艺特点。

5.3.2 工艺参数及相互关系

激光表面淬火主要工艺参数包括激光器输出功率 P、作用于工件表面的光斑面积 S、扫描速度 v 等。激光淬火硬化层深度 H 与主要工艺参数的关系如下：

$$H \propto \frac{P}{Sv}$$

5.3.3 当激光表面淬火面积较宽时，需采用扫描带搭接方式处理。搭接系数宜取为 5% ~20%，其计算公式如下：

$$\text{搭接系数} = \frac{\text{搭接量}}{\text{光斑宽度}} \times 100\%$$

有条件时可采用宽光束淬火，以减少搭接次数。

5.3.4 工艺参数的确定

a）根据被加工工件的材料特性、形状及尺寸、表面质量、设备条件、激光光束性质、预处理方法等具体条件确定工艺参数（激光功率、扫描速度、光斑尺寸等）。

b）根据工件自身特点，参考已有试验数据确定工艺参数范围，通过验证后确定工艺参数。

c）在确定工艺参数的过程中要充分考虑表面预处理及保护气体的影响。

5.4 操作记录

操作记录应包括：工件名称、材质、原始状态、技术要求、工件形状及处理部位、激光设备型号及电气参数、工作气体成分及流量、预处理方法、工艺参数和处理效果等。该记录应有有关人员签名，并保存一定期限。

6 质量要求及检测

检验人员应按技术要求、工艺文件、取样方式及数量进行检验。

6.1 外观

6.1.1 用肉眼或低倍放大镜观察，激光表面淬火表面不得有裂纹、伤痕、蚀坑及其他影响使用的缺陷。

6.1.2 用手触摸淬火表面的扫描带可有微凸感觉。

6.1.3 激光表面淬火作为最后工序的工件，表面不得有熔化现象。

激光表面淬火后需进行磨削加工的工件，其激光表面淬火熔化层深度不得超过后序加工余量。

6.2 表面粗糙度的检测

按 GB/T 1031 和 GB/T 3505 评定激光表面淬火工件的表面粗糙度。

激光表面淬火作为最后工序的工件，经激光表面淬火后表面粗糙度等级降低不得超过一个级别。

6.3　硬度检测

6.3.1　表面硬度

表面硬度测量应采用9.8～98N负荷的维氏硬度计（GB/T 4340.1）测量或小负荷维氏硬度计（GB/T 4340.1）测量；当硬化层深度在0.2mm以下时，硬度计负荷不超过49N[⊖]。采用其他硬度法测量所得数值仅供参考。

6.3.2　硬度分布

应用显微硬度法（GB/T 4342及GB/T 9790）测量激光表面淬火后硬化层的硬度分布。

显微硬度试样制备按6.4进行。

测量中加载荷时应平衡均匀、不得有冲击和振动，测量时所得压痕应为轮廓清晰的菱形，以保证检验结果的准确性。

6.4　金相检测

6.4.1　取样

所选取的金相试样必须具有典型性。要充分考虑到试样切取部位和被检测面的取向。若要观察激光表面淬火硬化层的深度、硬化区的显微组织及晶粒度，应取垂直于试样表面的横截面作为观察面。

某些不能直接取样的工件，可用具有与工件相同材料、相同原始状态、相同预处理方法及相同激光表面淬火条件的试样代替，但试样厚度不得小于10mm。

用切割机取样时要不断喷水冷却，避免因受热和外力作用引起金相组织发生较大变化。

6.4.2　制样

根据工件的形状和尺寸，选择不同的方法制作金相试样（镶嵌或夹板夹持），并根据不同材料采用适当的化学侵蚀剂显示其金相组织。

当采用砂轮切割机取样时，切口断面应先磨削去除不少于0.5mm厚度的表层，然后制备金相磨面。

试样在制备过程中不得改变原有的金相组织及硬度，应尽可能减少硬化层表面的磨削量，不得使边缘形成圆角。

6.4.3　显微组织

激光表面淬火后，在材料的硬化区中应具有和常规淬火处理相似的组织结构和组成相，但组织更加细小、弥散。

6.5　硬化层深度的测量

激光表面淬火硬化层深度分为总硬化层深度和有效硬化层深度。

采用的测量方法有显微硬度测量法（见附录B）及显微组织测量法。应根据图样要求在指定部位或指定试样表面按下述方法进行硬化层深度测量。

6.5.1　显微硬度测量法

a）测量原理。根据垂直于试样表面的横截面上的硬度分布确定硬化层深度。即以硬度值为纵坐标，测量点至表面距离为横坐标，绘制硬度随距离变化的曲线，根据曲线上硬度极限出现的坐标值以及开始达到基本硬度的点的坐标值，确定有效硬化层深度和总硬化层深度。

b）测量面的制备按6.4进行。

c）测量方法见附录B。

⊖　对铸铁等基体存在不均匀组织的材料，激光表面淬火后的表面硬度可用负荷不大于1.96N的显微硬度法测量。

6.5.2 显微组织测量法

a）测量原理。根据零件激光表面淬火后所引起工件表面至心部显微组织的变化，测定激光表面淬火后硬化层深度。

b）测量面的制备按6.4进行。

一般用2% ~4%硝酸酒精溶液或其他适当的侵蚀剂显示试样的显微组织（侵蚀剂与普通淬火时相同）。

c）测量方法（如图1所示） 在试样的横截面上，从表面垂直测至月牙形热影响区顶端的距离（δ）为激光表面淬火层总硬化层深度；从表面垂直测至月牙形底部方向的热影响区1/2处的距离（δ_1）为激光表面淬火层有效硬化层深度。

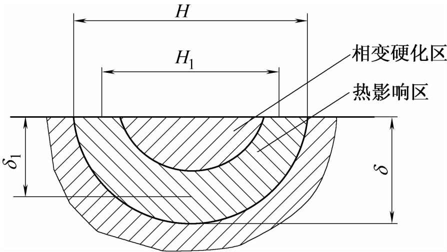


图1 激光表面淬火硬化层示意图

6.6 硬化层宽度的测量

6.6.1 显微硬度测量法

a）测量原理 根据被处理表面硬度分布确定硬化层宽度。即在被处理表面区域中与激光扫描方向垂直的方向上，以硬度值为纵坐标，基体至测量点的距离为横坐标，绘制硬度随距离变化的曲线，根据曲线上硬度极限点的坐标值以及开始达到基体硬度点的坐标值，确定有效硬化层宽度和总硬化层宽度。

b）测量面的制备按6.4进行。

c）测量方法见附录B。

6.6.2 显微组织测量法

a）测量原理 根据激光表面淬火处理后工件相变硬化区、热影响区及基体组织之间的差异，测定硬化层宽度。

b）测量面的制备按6.4进行。

c）测量方法（如图1所示） 在与激光扫描方向相垂直的横截面上，月牙形热影响区的最宽处为总硬化层宽度（H），热影响区两端1/2处之间的距离为有效硬化层宽度（H_1）。

6.7 仲裁方法

在有争议的情况下，以显微硬度测量法作为测定硬化层深度和宽度的仲裁方法。

7 安全防护

操作人员为防止激光辐射或散射，需使用个人防护用品。

根据激光曝光周期、波长及输出功率（辐射功率）或输出能量（辐射能量）等选择合适的防护眼镜、防护手套及防护服。

其他安全防护按GB 10320、GB 7247、GB 10435规定执行。

附 录 A

（资料性附录）

激光表面淬火工件的常用材质

钢种类型	钢种牌号
碳素结构钢	20、30、35、40、45、50、55、60
合金结构钢	20CrMnTi、40Cr、50Cr、35CrMo、42CrMo、40CrMnMo、50CrNi
轴承钢	GCr6、GCr9、GCr15、GCr9SiMn、GCr15SiMn
弹簧钢	65、65Mn、70Mn、55Si2Mn、50CrVA、55CrMnA、55SiMnVB

（续）

钢种类型	钢种牌号
碳素工具钢	T7、T8、T8Mn、T9、T10、T11、T12、T13
合金工具钢	9SiCr、CrWMn、5CrNiMo、3Cr2W8V、4Cr5MoSiV、4Cr5MoSiV1、Cr12MoV
高速工具钢	W18Cr4V、W9Cr4V2、W6Mo5Cr4V2、W12Cr4V4Mo
不锈钢	20Cr13、30Cr13、40Cr13、32Cr13Mo、12Cr17Ni7、95Cr18、25Cr13Ni2、90Cr18MoV
球墨铸铁	QT400-17、QT450-10、QT500-7、QT600-3、QT700-2、QT800-2、QT900-2
灰铸铁	HT200、HT250、HT300、HT350
可锻铸铁	KTH300-06、KTH350-10、KTZ450-06、KTZ550-04、KTZ650-02、KTZ700-02
蠕墨铸铁	RuT260、RuT300、RuT340、RuT380、RuT420

注：在相同的激光表面淬火工艺参数下，原始组织为淬火态时可获得最大的硬化层深度，其硬度也较高；退火态时硬化层深度最浅，硬度也较低。因此应根据材料的具体要求选择适当的预备热处理。

附　录　B

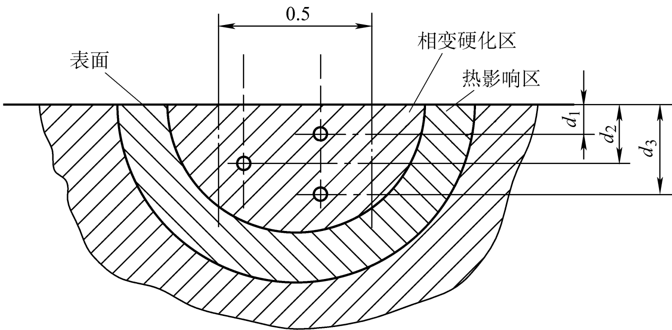
（规范性附录）

硬化层深度与宽度的显微硬度测量方法

显微硬度法检测硬化层深度时，硬度压痕应在以硬化层横截面的月牙形底部与表面垂线为中心的指定宽度为0.5mm的范围内垂直于试样表面的一条或多条平行线上进行（见图B1）。最靠近表面的压痕中心与试样表面的距离应近似于压痕对角线长的2倍，从表面到各逐次压痕中心之间的距离增加量每次不得超过0.1mm（例如 $d_2 \sim d_1 \leqslant 0.1$mm），且两相邻压痕之间的距离应不少于压痕对角线长度的2.5倍，由绘制的硬度-深度曲线确定硬化层深度，即从工件表面到硬度值等于硬度极限的测量点的距离为有效硬化层深度，从工件表面到硬度值等于基体硬度开始点的距离为总硬化层深度。在每一位置处，需至少测量三点硬度，以硬度的平均值作为该点的硬度值。

在检测硬化层宽度时，也应遵从上述原则。

除相关各方有特殊协议外，硬度试验的载荷一般应为0.98～1.96N。



图B1　激光表面淬火硬化层深度与宽度显微硬度测量示意图

第七节　钢件深冷处理

一、概论

对于钢件而言，在深冷处理过程中可使残留奥氏体转变为马氏体，促进马氏体内细小碳化物的析出，增强马氏体基体，硬度和耐磨性也随之提高。试验表明，钢材经淬火后的残留奥氏体的含量

较多，如 W6Mo5Cr4V2 高速钢淬火后的残留奥氏体的体积分数约 25%，95Cr18 不锈钢淬火后的残留奥氏体的体积分数约 35%；经深冷处理后，可明显减少残留奥氏体含量，如 W6Mo5Cr4V2 高速钢淬火 + 深冷处理后的残留奥氏体的体积分数降低至约 7%，95Cr18 不锈钢淬火 + 深冷处理后的残留奥氏体的体积分数降低至约 12%。

钢件深冷处理的最终目的是稳定工件尺寸，提高工件的硬度和耐磨性，提高工件的综合性能或特定的服役特性，是对金属材料潜能的深度发掘，可进一步提高金属材料的使用价值，并可实现节材降耗的目的。钢件深冷处理工艺可应用于机械装备、航空航天、仪器仪表、工具、模具、汽车和军事科学等领域。

20 世纪初，国外就开始研究用冷处理的方法来改变钢的组织和性能。20 世纪 70 年代，美国休斯敦航空、通用动力等公司开始使用深冷处理技术，并出现了专门从事深冷处理工艺的专业性公司。进入 20 世纪 80 年代后，澳大利亚、德国、英国等国家的科研人员对深冷处理的工艺、机理方面做了一定的研究（主要集中在工具钢上），研究结果普遍认为深冷处理可使金属材料的某些性能明显提高，特别是工具钢经过深冷处理后提高了硬度，其耐磨性可以提高 2.0 ~ 6.6 倍，极大地节省了材料。

我国关于金属材料冷处理的研究从 20 世纪 60 年代初开始，当时的冷处理研究工作的重点是提高金属材料尺寸的稳定性，冷处理的温度一般为 -70°C，其实际的主要应用于要求尺寸稳定性的量具及某些军工产品上。随着制冷设备和制冷剂的技术开发和发展，我国从 20 世纪 90 年代开始开展深冷处理的工艺研究。20 世纪初，一些企业已开始将深冷处理工艺运用于工具钢、轴承钢、高速钢等工件，相关的深冷处理设备也逐步实现自动化和商品化。如高速油泵柱塞环（GCr15 轴承钢），常因工作温度升高造成膨胀而导致早期失效。没有经过深冷处理，只能连续工作 5h；经过 -70°C 冷处理，连续工作 7h；而经过 -150°C 深冷处理，连续工作时间可达 10h 以上。

尽管深冷处理工艺技术有着广泛的应用前景并已深入发展，但经检索查询，国内外均未见公开的相关工艺技术标准。在制定标准过程中，经过工艺试验验证后，确定工艺参数、工艺顺序。

本标准为我国首次制定。标准的关键创新点：①制定了深冷处理的工艺参数；②确定了前期热处理与深冷处理之间的工艺顺序；③工艺参数、工艺顺序具有科学性和可靠性，可实际指导钢件深冷处理。

二、标准应用说明

1. 范围

本标准规定了工件淬火后深冷处理的适用钢种、设备、工艺、品质检验及安全卫生要求等。

本标准适用于钢件的淬火后或淬火回火后的深冷处理。

本标准适用范围的限定目的是：由于不同体系材料的生产工艺和微观组织存在较大区别，其深冷处理工艺也不尽相同，且深冷处理工艺目前主要运用于钢件方面的处理，因此，本标准是针对钢件的深冷处理。

2. 深冷处理工艺的常用钢材

本标准中适用于深冷处理钢材（见标准中表 1）的碳含量较高（渗碳钢或碳氮共渗钢经渗碳或碳氮共渗处理），这些钢材经相关热处理后主要应用于工具、冷作模具、量具及耐磨工件上。

3. 待处理工件的前期热处理工艺

本标准中指出：前期热处理工艺可包括淬火、渗碳或碳氮共渗 + 淬火、回火。也就是说，深冷处理可以在淬火、渗碳或碳氮共渗 + 淬火后进行，也可以在淬火 + 回火、渗碳或碳氮共渗 + 淬火 + 回火后进行。表 2.8-1 是 W6Mo5Cr4V2 高速钢、GCr15 轴承钢和 95Cr18 不锈钢淬火 + 深冷处理和淬

火+回火+深冷处理+回火后的硬度测试和耐磨性测试结果。从表2.7-1中可以看出，淬火后直接深冷处理比淬火回火后深冷处理具有更高的硬度和更小的磨损率。因此，本标准规定了对形状一般的工件，可在淬火后直接进行深冷处理；对于形状复杂的钢件，淬火后应及时回火消除内应力，再进行深冷处理，以避免钢件开裂。

表2.7-1　钢件经深冷处理后硬度和磨损率

试验钢种	性　能	淬火+深冷+回火	淬火+回火+深冷+回火
W6Mo5Cr4V2	硬度　HRC	64.0	62.8
	磨损率/(mg/h)	0.1	0.2
GCr15	硬度　HRC	63.5	62.9
	磨损率/(mg/h)	0.9	1.3
95Cr18	硬度　HRC	62.2	61.4
	磨损率/(mg/h)	1.5	2.2

4. 深冷处理设备

目前我国制造的深冷处理设备主要有两种制冷形式：一是高于-80°C的制冷设备，可采用机械制冷式；二是-80°C以下采用液氮为制冷剂的辐射换热和对流换热的制冷设备。这些深冷处理设备均配置温控系统，降温和回温速度一般均可调。

本标准中将液氮作为制冷剂的依据是，液氮既安全又经济，目前国内生产深冷处理设备的企业也将液氮作为制冷剂。

根据钢件深冷处理技术的要求，结合目前我国深冷处理设备的制造技术和条件，本标准规定了深冷设备的工作温度、控温精度、温度允许偏差值及降温回温速度等技术参数。

5. 深冷处理工艺

（1）深冷处理一般在前期热处理后及时进行。钢件经淬火后及时进行深冷处理，有利于残留奥氏体向马氏体转变和碳化物的析出而弥散强化，增加钢件的硬度和耐磨性。如：GCr15轴承钢淬火后立刻进行深冷处理（-70°C）后的硬度为63.6HRC，残留奥氏体的体积分数约0.5%；在2h后进行深冷处理后的硬度为63.4HRC，残留奥氏体的体积分数约2.2%；在5h后进行深冷处理后的硬度为62.9HRC，残留奥氏体的体积分数约4.8%。因此，本标准规定，深冷处理一般在前期热处理后及时进行。

（2）降温速度。深冷处理过程中的降温速度在一般情况下，对钢件的残留奥氏体含量和力学性能无显著影响，但对于形状复杂、易畸变和开裂的钢件，如果深冷处理降温速度过快，则会出现由应力引发的开裂。因此，本标准根据深冷处理设备的降温技术参数和试验结果确定降温速度（见标准中表3）。

（3）深冷处理温度。深冷处理温度一般以 Mf 为参考点，深冷处理温度应根据实际应用或工艺试验来确定。试验结果表明，随着深冷处理温度的降低，钢件残留奥氏体含量降低，硬度增加，当深冷温度低于-130°C时，残留奥氏体向马氏体转变基本完成，但在更低的温度将有利于细小碳化物的析出而弥散强化。因此，本标准规定，对于一般性能要求的工件，深冷处理温度为-70～-100°C；对性能有特殊或更高要求的工件，深冷处理温度为-120～-190°C。

（4）深冷处理保温时间。试验表明，随着深冷处理保温时间的延长，钢件的硬度略有增加，残留奥氏体略有降低，当深冷处理保温时间超过4h后，基本保持不变。因此，本标准规定，对于一般的钢件而言，深冷保温时间为1～2h，对性能有特殊或更高要求的工件，深冷保温时间为1～

4h。

（5）回温速度。试验表明，一般情况下，回温速度对钢件性能基本无影响。从控制热畸变角度考虑，本标准制定规定了回温速度一般为2～10°C/min，规定了深冷件应回温至室温后出炉。

（6）深冷处理次数。试验结果表明，两次和多次深冷处理不能进一步提高钢件的硬度、耐磨性和降低残留奥氏体的含量。因此，本标准规定，深冷处理次数一般为一次，以降低能耗。

6. 深冷件的后处理

为防止深冷件由于内应力而引起的开裂，在去除深冷件表面冷凝水分后，应及时回火。回火工艺在本标准中不做具体规定。

7. 品质要求及品质检验

（1）外观。深冷件表面不能出现裂纹及影响使用的划痕等缺陷。外观检验采用目测或按GB/T 15822.2的规定执行。

（2）硬度。深冷件表面硬度检测应在规定部位进行。硬度检验方法按GB/T 230.1执行。

（3）残留奥氏体

工件深冷处理后，若要进行残留奥氏体的测定，可采用X射线衍射法或金相法。

8. 安全卫生与劳动保护要求

（1）深冷处理设备使用的液氮装置应有相关合格证书，并按相应的规程操作。

（2）深冷处理过程中，严禁用手直接接触工件。

（3）深冷处理过程的安全卫生与劳动保护应符合GB 15735的有关规定。（上海市机械制造工艺研究所有限公司蔡红供稿）

三、标准内容（GB/T 25743—2010）

钢件深冷处理

1 范围

本标准规定了钢件淬火后深冷处理的适用钢种、设备、工艺、品质检验及安全卫生要求等。

本标准适用于钢件的淬火后或淬火回火后的深冷处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1　金属材料　洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2009，ISO 6508-1：2005，MOD）

GB/T 1222　弹簧钢

GB/T 1298　碳素工具钢（GB/T 1298—2008，ASTM A686：1992，NEQ）

GB/T 1299　合金工具钢（GB/T 1299—2000，neq ASTM A681：1994）

GB/T 3077　合金结构钢（GB/T 3077—1999，neq DIN EN 10083-1：1991）

GB/T 5216　保证淬透性结构钢

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 9943　高速工具钢（GB/T 9943—2008，ISO 4957：1999，NEQ）

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 15822.2　无损检测　磁粉检测　第2部分：检测介质（GB/T 15822.2—2005，ISO 9934-2：2002，IDT）

GB/T 18254　高碳铬轴承钢

GB/T 20878　不锈钢和耐热钢　牌号及化学成分

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　待深冷处理件　parts for cryogenic treatment

经过适当的前期热处理后准备进行深冷处理的工件。

3.2　深冷件　parts after cryogenic treatment

经过深冷处理的工件。

4　待深冷处理件

4.1　常用材料

深冷处理工艺的常用钢材见表1。

表1　深冷处理常用钢材

类　别	标　准
碳素工具钢	GB/T 1298 所列牌号
弹簧钢	GB/T 1222 所列牌号
高碳铬轴承钢	GB/T 18254 所列牌号
不锈钢和耐热钢	GB/T 20878 中的马氏体型不锈钢
合金工具钢	GB/T 1299 所列牌号
高速工具钢	GB/T 9943 所列牌号
渗碳钢、碳氮共渗钢	GB/T 3077、GB/T 5216 中可用于渗碳、碳氮共渗牌号

4.2　待处理工件（原始状态）的前期热处理工艺

4.2.1　可根据工件最终的综合性能要求选取不同的前期处理工艺。

4.2.1.1　对形状一般的工件，可进行前期淬火，冷至室温后及时进行深冷处理。

4.2.1.2　对形状复杂的工件，可进行前期淬火+回火，冷至室温后及时进行深冷处理。

4.2.2　前期热处理工艺可包括淬火、渗碳或碳氮共渗+淬火、回火。

5　深冷处理设备

5.1　深冷处理设备应配备温度测定及温度自动控制与记录装置。

5.2　采用机械式制冷的深冷处理设备，其工作温度在室温至－80°C 连续可调，控温精度不低于±1.5°C。

5.3　采用液氮式制冷的深冷处理设备，其工作温度在室温至－190°C 连续可调，控温精度不低于±1.5°C。深冷箱内有效冷却区按 GB/T 9452 测定，其温度偏差不得超过±5°C。

5.4　深冷处理设备在降温及回温过程中应能控制变温速度，变温速度范围要求见表2。

表2　深冷处理设备变温速度范围要求　（单位:°C/min）

降温速度	回温速度
0.5~6.0	2.0~10.0

6　深冷处理

6.1　处理前准备

6.1.1 待深冷处理件不应有脱碳，并保证表面清洁。
6.1.2 选用工艺装备，检查冷却设备、控制仪器、冷却介质及管路系统。
6.1.3 根据需要可随炉安放供检测的试样。试样的材料和前期热处理条件件应与待深冷处理件相同。
6.2 装炉
6.2.1 使用工装时，应预先检查其安全性能，并去除油污。
6.2.2 工件应置于深冷处理设备的有效冷却区内，装炉方式应满足均匀冷却的要求。
6.3 深冷处理工艺
6.3.1 深冷处理一般在前期热处理后及时进行。
6.3.2 常用深冷处理工艺见表3。

表3 常用深冷处理工艺

性能要求	工件形状	降温速度/(°C/min)	深冷处理温度/°C	深冷保温时间/h
提高硬度、耐磨性（一般）	一般形状	2.5~6.0	-70~-100	1~2
	复杂形状	0.5~2.5		
提高硬度、耐磨性（特殊）	一般形状	2.5~6.0	-120~-190	1~4
	复杂形状	0.5~2.5		
提高尺寸稳定性（一般）	一般形状	2.5~6.0	-70~-100	1~2
	复杂形状	0.5~2.5		
提高尺寸稳定性（特殊）	一般形状	2.5~6.0	-120~-150	1~4
	复杂形状	0.5~2.5		

6.3.3 深冷件回温速度一般控制在2.0~10.0°C/min范围内。
6.3.4 深冷件一般回温至室温后出深冷处理设备，按工艺要求也可直接出深冷处理设备，在空气中自然回温。
6.3.5 深冷处理次数一般为一次。

7 深冷件的后处理

7.1 应去除深冷件表面的冷凝水分。
7.2 深冷件应及时回火，回火工艺及参数按工件性能要求而定。

8 品质要求及品质检验

8.1 外观

深冷件表面不能出现裂纹及影响使用的划痕等缺陷。外观检验采用目测或按GB/T 15822.2的规定执行。

8.2 硬度

深冷件表面硬度检测应在规定部位进行。深冷处理前后硬度差检测应在相邻部位进行。硬度检验方法按GB/T 230.1执行。

8.3 畸变

深冷件畸变应不影响后续加工及使用，具体畸变量允许范围及测量方法由合同双方协商确定。

8.4 残留奥氏体
8.5 工件深冷处理后，若要进行残留奥氏体的测定，可采用X射线衍射法或金相法。

9 检验设备

所用磁粉探伤仪、硬度计等检验设备应有计量部门颁发的合格证书，并在有效期内使用。

10 安全卫生与劳动保护要求

10.1 深冷处理设备使用的液氮装置应有相关合格证书，并按相应的规程操作。

10.2　深冷处理过程中，严禁用手直接接触工件。

10.3　深冷处理过程的安全卫生与劳动保护应符合 GB 15735 的有关规定。

11　记录及产品报告单

11.1　工件前期热处理主要工艺参数、检测数据以及工件深冷处理主要工艺参数、检测数据等应有完整的记录，记录的保存期应符合相关的管理要求。

11.2　产品报告单应包括下列内容：

——工件的名称和图号；

——工件的材料牌号；

——单件质量及数量；

——工件前期热处理工艺；

——品质检测结果；

——操作者姓名或代号；

——品质检验员姓名或代号；

——报告日期。

附　录　A

（资料性附录）

几种常用深冷处理设备类型

A.1　基于辐射换热的深冷处理设备系统

利用液氮在盘管或深冷箱内壁外的夹套中流动吸收（反向辐射）工件的热量达到冷却目的，其系统示意图见图 A.1。

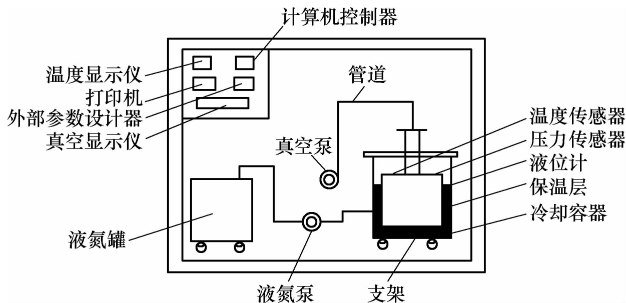


图 A.1　基于辐射换热的深冷处理设备系统

A.2　基于对流换热的深冷处理设备系统

液氮经喷管喷出后在深冷箱内直接汽化，利用汽化潜热及低温氮化吸热使工件冷却，其系统示意图见图 A.2。

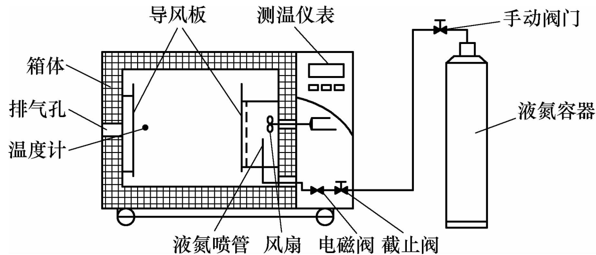


图 A.2　基于对流换热的深冷处理设备系统

A.3 基于辐射换热及对流换热相结合的深冷处理设备系统

通过辐射换热及对流换热相结合的方式在冷却箱内对工件进行冷却，具有温度分布均匀、波动小的优点，其系统示意图见图 A.3。

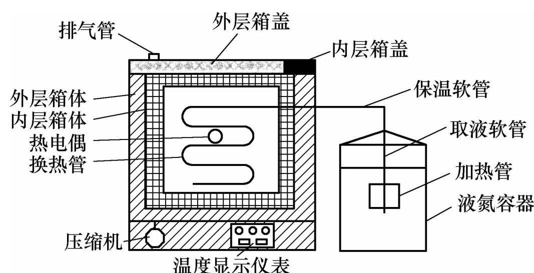


图 A.3 基于辐射换热及对流换热的深冷处理设备系统

第八节 钢的锻造余热淬火回火处理

一、概论

锻造余热淬火（锻热淬火）在工业上应用的历史已经非常悠久。从发展过程来看，最初是单纯地利用锻后余热，以节约能源，可是实际获得的性能结果却是意想不到的好。这样，就促使人们对锻热淬火进行更为深入广泛的研究，在此基础上锻热淬火工艺的应用得到了扎实的发展。

实际上锻热淬火就是一种将钢加热到稳定的奥氏体区，保温后在该温度下塑性变形，变形终止后随即进行淬火，获得马氏体组织，同时利用变形强化和相变强化的综合工艺。这种工艺可使钢材达到高的综合性能，并获得明显的节能效果。

20 世纪 70 年代初期，冶金生产当中的控制轧制或轧后控制冷却均已列入许多国家的冶金工艺标准，特别是国外汽车制造业中的高强度锻件已经普遍采用了锻热淬火工艺。我国在汽车、拖拉机和柴油机零件利用该工艺也有几十年的历史了，有些工厂已制定了企业工艺标准。在调研国内现况、科学试验及参考国内外有关资料的基础上，为促进和推广此项目而制定本标准。2008 年本标准重新修订，内容基本没有改变，仅对某些引用文件及术语做了少量调整。

二、标准应用说明

1. 钢的锻造余热淬火适用范围及分类

（1）适用范围。钢的锻热淬火是在相变之前进行形变淬火的方法，属于高温形变热处理的一种。而冶金生产中的控制轧制和轧后控制冷却等形变热处理，以及机械部门的形变正火、形变退火等工艺均不属于本标准范围。本标准主要适用于机械制造工业中量大面广、要求较高强度的结构钢锻造毛坯，并需淬火及回火的零件，例如连杆、齿轮、万向节、吊钩、曲轴、板弹簧和石油钻套接头等。此外，还适用于轴承钢和工具钢锻造毛坯并需调质处理为其预备热处理的零件。

（2）锻热淬火用钢。近年来日、美、俄罗斯等国研究锻热淬火所用钢种较多，似乎一般钢种均可采用，但实际上用于生产的只有部分钢种。目前，我国还没有发展专门用于锻热淬火的钢种，一般的碳素钢和低合金钢均可适用。

此外，由于钢经锻热淬火后，明显提高了钢的淬透性，国内外在采用锻热淬火结构钢材中，已采用碳钢替代低合金钢。原已采用碳钢的，则向降低钢的含碳量的方向发展。标准中列举的钢种已是研究及使用得比较成熟的部分，今后将不断发展。

（3）分类。锻造工艺本身，根据成形方法不同或锻造设备不同，其类别比较繁多。目前机械工业中最常见的成形方式有自由锻、胎模锻、模锻、热挤压和精锻等。不同的形变方式的形变强化效果也不相同。所以采用锻造成形的方式来分类是较为恰当的。

2. 锻热淬火的技术条件

锻热淬火的工艺参数对其强化效果有很大影响，贯彻标准时为了合理制定工艺，应着重考虑锻造加热温度、锻造形变量、锻后停留时间、锻热淬火温度、回火等参数。

（1）锻造加热温度（始锻温度）。钢的锻造加热温度单纯从塑性变形充填成形的角度考虑，则规定为钢的熔点以下100～150℃。但是从锻热淬火及形变强化效果出发，由于钢的形变温度远高于形变奥氏体的再结晶温度，始锻温度不宜过高，以尽量减缓形变奥氏体晶体内缺陷在高温下因动态及静态再结晶并长大过程。同时，也防止在形变过程中因原子和晶格移动内摩擦热升高，致使锻件温度过高，促使奥氏体晶粒粗化。表2.8-1所列数据说明了这一情况。

因此，采用锻热淬火工艺的锻坯，标准规定始锻温度应比通常的锻造工艺偏低一些。当终锻温度高于950℃时应取始锻温度的下限值。当终锻温度低于900℃时应取始锻温度的上限值。原则上只要工件形变后淬火时表面温度不低于相变临界点 Ac_3 温度，淬火时不至于产生非马氏体组织，无论是从形变强化或是从淬火相变强化考虑，尽量控制较低的锻造加热温度是合适的。

表2.8-1　45钢始锻温度对性能的影响

始锻温度/℃	力学性能					奥氏体晶粒度/级
	R_m/MPa	A（%）	Z（%）	KU/J	硬度　HBW	
1180	913	18.4	58.2	84.38	245	7～5
1250	882	20.0	57.7	75.46	245	5～6

（2）锻造形变量。形变量对锻热淬火后力学性能的影响，大体可归纳为两种类型：第一种类型是随形变量的增加其力学性能也不断递增。图2.8-1所示为45CrMnSiMoV钢加热到1000℃奥氏体化，经不同形变量后，在900℃油淬，再经315℃回火后的力学性能，可见随形变量的增加钢的强度，塑性及硬度不断升高；第二类是随形变的增加其力学性能呈现极值，如图2.8-2所示为60Si2Mn钢汽车钢板弹簧经不同形变量轧制后，在930℃油淬回火后的性能。为此，在板簧采用锻热淬火工艺时，选择20%左右的形变量是合理的。

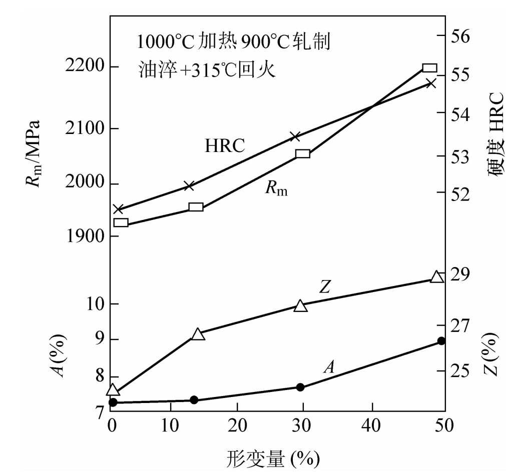


图2.8-1　45CrMnSiMoV钢形变量对性能的影响

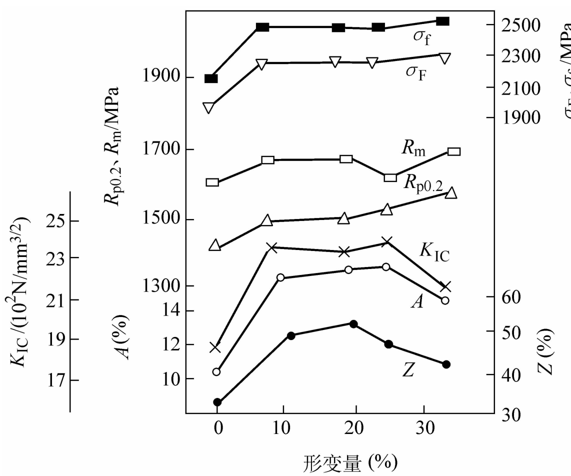


图2.8-2　60Si2Mn形变量与力学性能、断裂韧度的关系

对于一般钢材来说，形变量与性能间的极值现象是较普遍的，因为在整个高温奥氏体形变淬火过程中，同时存在着动态与静态形变晶粒的回复再结晶及其长大过程，形变强化和再结晶弱化相互矛盾过程在交替作用。如果是单纯形变强化作用，则随形变量的增加，形变起始阶段强化效果明显，而后逐步缓和变得不明显。而形变奥氏体的回复区结晶率也是随形变量增加而提高，此后有降低趋势。而形变时温度越高，再结晶率也越高。形变量越大，形变潜热也越高，更易促使再结晶。只要再结晶晶粒度有明显长大现象，韧性是改善的。对于含合金元素较多的钢而言，因钢中合金元素溶入固溶体延缓再结晶作用，即提高了钢的再结晶温度，而使形变强化起了主导作用。

在一般钢种及工艺条件下，标准规定形变淬火时最佳形变量为25% ~40%，因为只有在形变量超过20%时，尽管发生动静态再结晶，但仍保留了明显的形变强化效果，如亚结构细化、晶界多边化和晶界净化等，强度虽略有提高，但韧性明显改善。一旦形变量小于20%（如5%）时，高温加热时的奥氏体晶粒尺寸原已粗化，较小的形变量造成局部形变、结果晶粒粗细不规整，此时对钢的强韧性都没有好的作用。而更高的形变量，则会因形变热的增高，再结晶晶粒容易长大，而影响最终的强韧化效果。

3. 锻后停留时间

高温塑变成形之后一般尚需切边、精整等后续工序，而终锻温度均高于奥氏体的再结晶温度。在锻造后淬火前的这段停留时间内，锻件内部组织结构和成分将发生变化，必然会影响锻热淬火后的性能。

一般认为，较长的锻后停留时间，将会发生形变奥氏体的位错网络动态多边化、再结晶和进一步长大的过程，以及形变过程中因奥氏体溶解碳量的降低，析出碳化物在停留时间内重新溶解，并引起合金元素的再分配，从而影响钢的强韧化效果。上述过程对碳钢和低合金钢进行的速度较快，对中、高合金钢较慢。就中高合金钢而言，形变终了时，正处于热作硬化状态，回复与再结晶过程较慢，为了进行亚结构和多边化过程，以及部分消除形变时的晶内应力集中，最好停留一段时间，方可获得良好综合力学性能。为此，以三种调质钢38CrSi、40Cr、45为对象，研究了锻后停留时间对其性能的影响，其结果如图2.8-3所示。40Cr和45钢始锻温度为1250℃，形变后分别经10到120s不同时间停留后淬火，并经560℃回火，试验结果表明，停留时间在25s时韧性差，在40s时强度最高，在40s到90s区间强韧性有良好配合。图2.8-4表明38CrSi钢经1100℃锻造，660℃回火后得到的类似的结果。

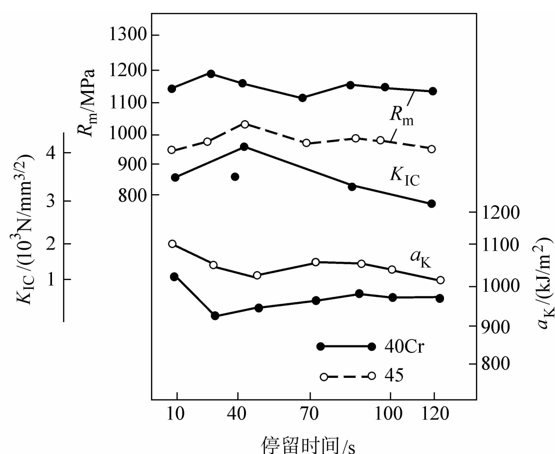


图2.8-3　45和40Cr钢锻后停留时间对性能的影响

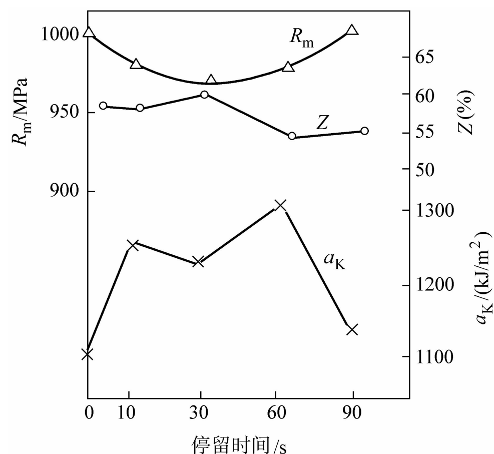


图2.8-4　38CrSi钢停留时间对性能的影响

当然，过长的停留时间，如果已引起奥氏体晶粒的明显长大，或自奥氏体中析出铁素体时，其强韧性能已低于正常调质状态。故本标准推荐碳钢停留时间不大于60s。

4. 锻热淬火温度

锻热淬火温度，即锻后进入淬火冷却介质前的工件表面温度。此温度的高低和始锻温度、形变方法、形变量、形变速率、锻后停留时间及环境的温湿度等因素有密切联系。一般模锻的形变速率高，大多数是一次加热成形，工序节拍短。与辊锻或挤压方式比较，模锻工件锻热淬火温度偏高，均在950℃以上。而辊锻的形变速率低，形变量大，需经多道辊轧，一般淬火温度在900℃左右。

锻热淬火温度高时，有利于提高钢的淬透性，对碳素结构钢有实际意义。但从锻热淬火的强韧化效果看则是不利的。较低的淬火温度只要采用合适的淬火冷却介质，也可充分发挥锻热淬火的效果，见表2.8-2。

表2.8-2 45钢锻热淬火温度对性能的影响

锻造工艺	锻热淬火温度/℃	R_m/MPa	R_{eL}/MPa	A(%)	Z(%)	KU/J	硬度 HBW
始锻1230℃，形变量ε=94%，停留32s	1000	940	834	18.1	57.9	88.49	248
始锻1230℃，形变量ε=94%，停留45s	820	882	784	20.0	57.7	79.58	245
始锻1230℃，形变量ε=94%，停留57s	770	870	773	19.3	55.1	89.18	247
正常调质：850℃淬火，550℃回火		877	772	18.2	57.4	83.01	235

注：锻热淬火工件600℃回火。

若终锻温度处于Ac_3 ~ Ac_1的两相区时，可将锻件置于Ac_3以上某一温度的加热炉中。待达到温度再淬火，也同样有节能效果，并与正常工艺有同等的性能，表2.8-3所列数据即可说明。

表2.8-3 45钢汽车曲轴分段加热淬火后的性能

处理规程	R_m/MPa	R_{eL}/MPa	A(%)	Z(%)	KU/J
锻后温度700℃，再加热到860℃淬火、回火	940	710	11.5	54	68.6
正常调质	846	650	15	60	78.2

5. 锻热淬火的冷却

由于锻热淬火温度比普通淬火高得多，可显著地提高钢的淬透性，形变应力还促使Ms点上升，故常用的碳钢和合金结构钢锻热淬火经常可采用油淬方式。这对防止淬火裂纹是有益的。但如锻热淬火零件尺寸较厚或终锻温度偏低，采用比油淬强烈的冷却介质显然是必要的。

日本汽车制造业对w(C)小于0.3%的钢，锻热淬火时采用添加防裂剂的水溶性冷却介质，而w(C)为0.4% ~0.55%的碳钢，仍采用油。

我国已开发了多种快速淬火油、合成淬火剂和无机盐水溶液淬火冷却介质。表2.8-4是目前我国锻热淬火中常采用的冷却介质及其特性。

锻热淬火虽然具有提高钢的淬透性的作用，但在钢的等温转变图的鼻部油冷却缓慢，在锻件尺寸稍大或终锻温度偏低时，就无法淬透工件，不能发挥形变强化和淬火强化的作用。在锻热淬火工艺中成熟应用的钙剂水溶液淬火冷却介质，具有较理想的冷却特性，其冷却能力便于调整，容易适应材料和工艺的要求。在柴油机连杆、汽车万向节、前轴和后拖钩等45钢和40Cr钢零件批量生产上获得成功的应用。又如石油钻杆接头系30CrMo钢热挤压成形的调质件，按常规热处理工艺或锻热油淬，其强韧性不能满足要求，采用锻热钙剂水溶性介质淬火，与该零件国内标准规定的性能指标相对比，R_m提高18%，R_{eL}提高33%，A增加6%，Z增加32%，a_K值提高40%。完全满足设计和使用要求。

表 2.8-4 锻热淬火冷却介质及其特性

冷却介质类型 \ 冷却速度/(℃/s)	在 650 ~ 500℃期间平均冷速	在 300 ~ 100℃期间平均冷速	用 途
水溶性钙剂 SGO	985	63	低、中碳结构钢、低合金结构钢
水溶性钙剂 SGT	1481	59	
清水	243	201	低碳低合金结构钢
沸水	32	32	碳工钢、轴承钢
L-AN 全损耗系统用油	37.5	10	中碳、高碳、低合金钢

6. 锻热淬火后的回火

钢锻热淬火后采用的回火工艺，应随工件的用途及对性能的要求不同而异。但锻热淬火钢比常规加热淬火钢具有更高的耐回火性。这是因为锻造成形及锻热淬火过程中，奥氏体晶内位错密度明显增加，由于位错攀移而堆砌成“墙”的亚结构，形成规则排列的稳定位错网络，再加上形变奥氏体的碳溶解度下降而析出的弥散细小碳化物钉扎位错网络的作用，更促成了亚结构的稳定性。

图 2.8-5 所示为 45Mn 钢锻热淬火后回火温度对性能的影响。从该图中可见，锻热淬火与常规淬火工艺相比，两者硬度相同时，前者的强度、韧性和塑性都比后者提高，其耐回火性提高了 50℃，对 45 钢和 40Cr 钢也具有相同的规律。这也就说明为什么采用锻热调质的钢有更好的综合力学性能的原因。

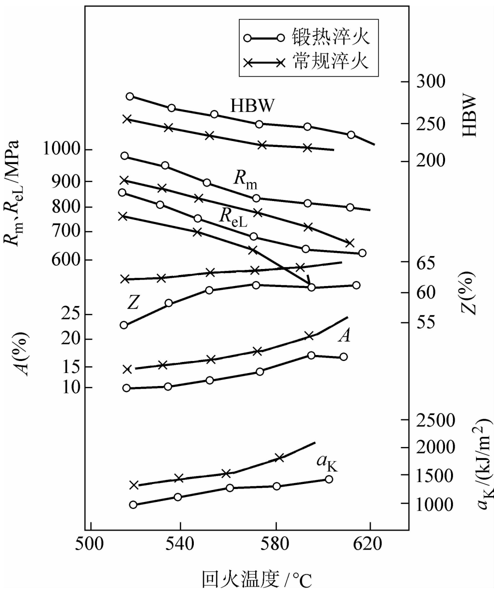


图 2.8-5 锻热淬火调质与常规淬火调质的回火温度对力学性能的影响

表 2.8-5 所示 60Si2Mn 弹簧钢的锻热淬火及中温回火的结果。与 3、4 号工艺相比，1 号工艺在保持塑性的基础上有显著的强化效果，2 号工艺在保持足够的强度基础上有良好的综合力学性能。

表 2.8-5 60Si2Mn 钢不同热处理工艺的性能对比

编号	工艺 \ 性能	R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A(%)	Z(%)
1	形变量 ε = 30% 锻热淬火，420℃回火	1681	1881	5.6	49.5
2	形变量 ε = 30% 锻热淬火，460℃回火	1585	1723	7.5	41.3
3	ε = 30% 常规淬火，430℃回火	1507	1693	7.3	35.2
4	ε = 30% 常规淬火，460℃回火	1328	1498	9.8	38.2

值得注意的是，锻热淬火零件应及时回火。其原因是锻热淬火零件的淬火温度较高，晶粒较粗，淬透性好，淬后残留奥氏体量稍多。淬后搁置将继续发生马氏体相变，从而产生较大的组织应力。淬火热应力较大，锻造形变应力的残存等，均会造成表面较大拉应力而导至开裂，见图 2.8-6。对高碳钢或零件厚薄不均尺寸悬殊的情况下更易产生裂纹。中碳低合金钢或高碳钢比低、中碳结构钢更易产生锻淬后的搁置裂纹。

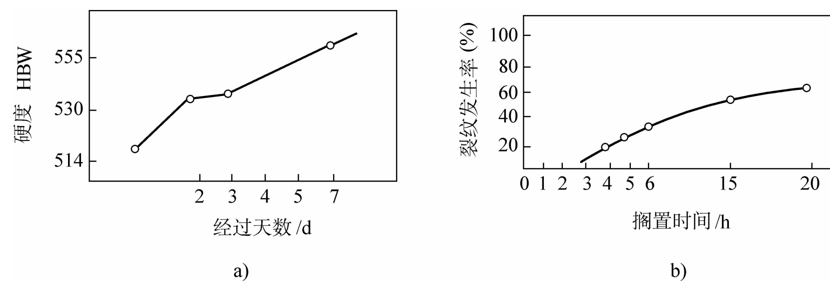


图 2.8-6　45Mn 钢锻淬后硬度和裂纹敏感性随搁置时间的变化
a）锻淬后硬度变化　b）锻淬后裂纹发生率

锻热淬火过程中淬火冷却介质选择适当，通常不会引起淬火裂纹。这是因为淬火组织主要是由高密度位错构成的板条马氏体，马氏体尺寸细小，其晶亚结构多边化晶界的锯齿状，均能阻碍晶内滑移和减慢已有显微裂纹在晶界上的汇合。从图 2.8-6 可见裂纹多发生在淬火后搁置 4h。这对产品质量的控制是很重要的，故标准规定淬火后应及时回火。

7. 锻热淬火回火组织

根据钢在锻热淬火回火过程中的组织变化并分析组织对性能的影响，以达到认识性质变化的规律，控制产品质量。

（1）奥氏体晶粒度。在生产条件下，锻热淬火所获得的奥氏体晶粒度要比常规加热淬火时的粗大。那么是否会降低钢的性能呢？大量文献指出，形变淬火强化机制主要是：形变导致合金元素及杂质元素晶内再分布，防止有害元素的晶界沉积，起到晶界净化和奥氏体稳定作用；形变并经过再结晶的奥氏体呈位错攀移的网络亚结构稳定组织，淬火后得到是位错密度较高的束状板条马氏体，但板条弯曲数量明显增多；再加上形变过程中析出的细小弥散均匀分布的 ε-Fe_xC 钉轧位错网络作用，等等，这就区别于常规加热奥氏体晶粒的不良影响。当然在相同的形变条件下，终锻温度过高，导致再结晶奥氏体的晶粒的过分粗大，以至亚结构位错墙大量消失，亚晶粒尺寸变大，ε-Fe_xC 重新溶入，晶粒容易迅速聚集长大，其弱化作用越趋明显。或者在形变量过大，有产生强烈发展的动态再结晶及其长大的危险。

直接影响奥氏体晶粒粗化的因素如下：

1）锻造加热温度。上述表 2.8-1 中数据说明始锻温度越高，晶粒度粗化，钢的强韧性下降。当然只要锻热淬火奥氏体晶粒号不低于 2 级，其性能就会略超过或相当于常规淬火工艺。

2）锻后停留时间的影响。因为形变温度和停锻温度远高于奥氏体的再结晶温度，所以锻后停留，极易引起奥氏体晶粒长大。从表 2.8-6 中可看出，40CrNiMo、40Cr 和 45 钢经 1000℃轧制，形变量为 50%，终锻温度为 950℃，分别在不同时间停留的实际奥氏体晶粒度，最长的停留时间达 10min。为使工件表面温度不低于 Ac_3 相变温度，可将锻坯置于 870℃电炉中保温，然后经不同时间停留后再淬火。常规正常淬火晶粒度为 8～9 级，锻后停留时间越长，晶粒越粗。45 钢晶粒长大速度最快，40CrNiMo 钢最慢。显然，这与合金元素阻碍铁和碳原子的扩散能力有关，停留时间对合金钢的影响要比碳钢小。

表 2.8-6　40CrNiMo、40Cr 和 45 钢锻后停留时间对晶粒度的影响

钢　种	锻后停留时间/s				常规加热
	10	30	300	600	870℃正常淬火
40CrNiMo	6.5	5.5	5	5	8
40Cr	5.5	5	4.5	4	9
45	5.5	4.5	3.5	3	9

（2）锻热淬火时的马氏体形态。锻热淬火能显著细化马氏体组织，因形变诱发马氏体相变和位错密度增加、亚晶界增多，使淬火马氏体长度变短，宽度变狭，且呈弯曲状的数量增多。中、低碳结构钢锻热淬火以位错形板条马氏体为主。这是因为形变奥氏体内碳溶解度下降形变过程中会析出ε-碳化物，降低了奥氏体含碳量，以及形变诱发马氏体点上升之故。在40Cr钢锻热淬火研究中，发现马氏体内嵌镶块尺寸细化和位错密度增加。从表2.8-7中数据可见，随着锻后停留时间的延长，嵌镶块尺寸长大，位错密度减小，但比常规处理方法有所改善。40CrNiMo钢形变量对马氏体尺寸的影响见表2.8-8。由该表可以看出，形变量越大，马氏体尺寸越小。尽管形变量很大，再结晶在短时间内即已完成。只要停留时间未引起晶粒严重粗化，晶粒虽有一定长大，由于形变缺陷的遗传，仍能阻止马氏体集束长大。

表2.8-7 40Cr钢X射线结构分析结果

处理规范	嵌镶块尺寸 D/mm	位错密度 ρ/cm^{-2}
1100℃形变，锻后停留10s，水淬	2.21×10^{-5}	0.61×10^{10}
1100℃形变，锻后停留30s，水淬	2.63×10^{-5}	0.43×10^{10}
1100℃形变，锻后停留50s，水淬	2.80×10^{-5}	0.38×10^{10}
1100℃高温淬火	6.20×10^{-5}	0.07×10^{10}
1100℃形变，锻后停留3s水淬，550℃回火	6.18×10^{-5}	0.08×10^{10}
常规840℃正常水淬，550℃回火	9.73×10^{-5}	0.03×10^{10}

表2.8-8 40CrNiMo钢形变量对马氏体尺寸的影响

尺寸/mm	形变量（%）				
	0	30	50	75	75①
板条束长度	0.15	0.0625	0.025	0.0125	0.013
板条束宽度	0.1	0.0375	0.025	0.020	0.015

① 轧后停留30s淬火。

锻热淬火除获得板条马氏体以外，在中碳钢内还有少量孪晶马氏体存在。

（3）碳化物析出。在45钢和40CrNiMo钢锻热淬火试样薄膜透射电镜研究中，高温形变过程中奥氏体内碳的溶解度下降，形变过程中有碳化物在晶内或晶界上析出。另一种情况是锻热淬火时先形成的马氏体有自回火现象，有ε-碳化物在马氏体内沿一定位向析出。析出碳化物除了起钉轧位错，提高强度的作用外，还起到后续回火时的非自发核心作用，从而改善碳化物形态和分布，表现出钢的最终良好的力学性能。

（4）残留奥氏体。在钢的高温形变过程中，影响残留奥氏体量有两个相互矛盾的因素：一方面是形变析出碳化物降低奥氏体的碳及合金元素的含量，使Ms点上升，残留奥氏体量减少；另一方面，由于形变奥氏体中存在着大量位错与压应力，以及嵌镶结构的细化等，促使奥氏体稳定，马氏体形核及长大均较困难，结果使残留奥氏体量增多。由于两种因素的同时作用，可以推知，在残留奥氏体随形变量变化曲线上应该存在一个最大值。实践中也证实了这一点，如图2.8-7所示。当形变量小时，自奥氏体析出的碳化物很少，而奥氏体本身却得到相当程度强化使转变为马氏体的能力减小，因而残留奥氏体量增多。在形变量较大时，奥氏体的高温形变强化因动态回复及再结晶过程而削弱。此时碳化物析出起主要作用，Ms点上升，而残留奥氏体量减少。

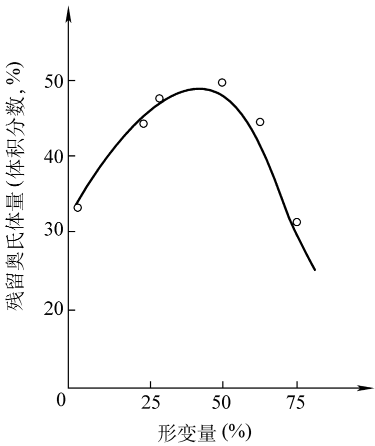


图2.8-7 T12钢900℃形变淬火后残留奥氏体量与形变量的关系

（5）回火组织状态。国内目前较多使用锻热淬火并经中

温和高温回火处理，回火多在400～650℃区间进行。高温形变淬火回火钢的强度与塑性都较普通淬火回火钢为高。从回火组织形态可见锻淬回火组织的碳化物颗粒圆，细小，分布均匀，而普通调质态碳化物多呈短杆状或链状，颗粒较粗大，分布不均匀，其组织中仍保持有原来马氏体的板条痕迹，并显现出铁素体亚晶界。而普通调质态的铁素体为等轴状，其中的亚晶界不清晰。

以上说明，锻热淬火零件具有较好的耐回火性。锻热淬火及回火后所得的组织状态正好与其良好的强韧性效果相一致。

8. 锻热淬火回火工艺质量管理

锻热淬火回火工艺的应用，在量大面广的结构零件生产中，能发挥材料强度潜力和大幅度节约能源。正因为如此，保证锻造工艺过程的稳定性是关系到后续余热淬火工艺质量的关键。否则因始锻温度的波动范围过大，成形速率不均或锻后停留时间的不同，带来淬火质量控制的困难，必然造成产品性能的不稳定。只要保证生产节奏在允许的工艺参数范围内，加强各道工序的管理和分段质量检查，就能充分发挥锻热淬火工艺的优越性。

本标准在应用上应该注意的几个方面如下：

（1）锻造加热温度控制。加热炉的有效加热区内的温度偏差要小。装炉量或坯料均热时间按允许的脱碳层深度考虑。加热设备应配置温度可测可调装置。

（2）锻热淬火温度控制。根据钢种、锻件形状、尺寸及力学性能要求，选择合理的淬火温度。低于淬火温度下限的零件应即时分检不应混入。定期检测淬火温度。

（3）淬火冷却与淬火冷却介质。淬火浴槽应有足够的容积，并配置淬火冷却介质循环及调温装置。

根据钢种、零件尺寸和成形工艺选择合理的淬火冷却介质，定期检测淬火冷却介质的冷却特性。

（4）回火工艺控制。锻热淬火零件应及时回火，根据零件的力学性能要求确定回火温度，根据零件的装炉量确定回火时间。

（5）产品质量检测

1）宏观表面质量：无裂纹和折叠，重要零件应做100%无损检测。

2）表面硬度及力学性能：应符合产品设计要求。

3）金相组织：奥氏体晶粒度应不低于2级；金相组织符合钢件及零件规定的评级标准。

9. 锻热淬火工艺的经济效益

经济效益一般是按产品质量、材料强度和零件寿命的提高，节材、节能、节约劳动工时、降低热处理材料消耗和设备投资，节约生产场地等项目来衡量的。

（1）节约材料。锻热淬火提高钢力学性能的效果是显著的，这就给改进零件结构减轻其重量创造了条件。例如，美国福特汽车公司汽车板弹簧采用50CrMo钢热轧成形直接淬火，结果其板簧结构由原先的14片75.4kg（166lb）减少到7片50.8kg，节约钢材32.6%。又如我国研制成功重型汽车后桥板簧，采用60Si2Mn钢热轧成形直接淬火，结果由原来的31片196.5kg减少到15片141.8kg，节约钢材28%。

（2）节约能源。锻热淬火的发展首先起因于20世纪60年代中期和20世纪70年代的世界性能源危机的影响。世界各国汽车工业对其锻件热处理节能工作由研究转入到生产应用，并取得了重大成果，见图2.8-8。

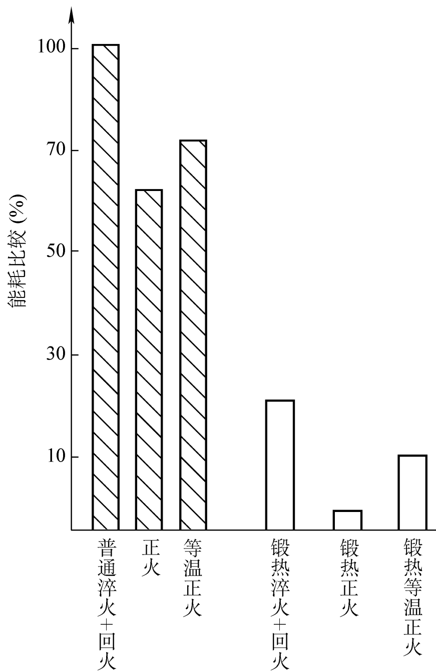


图2.8-8　各种热处理方法能耗比较

以结构钢调质处理为例，按原有的生产工艺是：锻造成形空冷—重新加热正火—重新加热淬火—回火。锻热淬火的生产程序则是：锻造成形直接淬火—回火。后者比前者节约了重新加热正火和淬火两道工艺，单热处理一项就可节约能源73%。例如我国某柴油机厂，年生产12万件40Cr钢连杆，将原有六道工序（锻造—正火—淬火—回火—酸洗—去氢）减少到三道工序，（锻造淬火—回火—快速酸洗），使生产率提高三倍，每年节约劳动工时9600h，节电60000kW·h、柴油80t、硫酸30t等。除上述外，还减少了设备投资和工作场地等。又如某内燃机厂生产的曲轴、连杆、齿轮等11种零件采用高温的形变热处理后，每年可节约煤气70万m^3，折合每吨锻件节约106.4元，该厂年产2万台内燃机，单这一项就可节约12.8万元。（上海工业大学张平和供稿）

三、标准内容（JB/T 4202—2008）

钢的锻造余热淬火回火处理

1 范围

本标准规定了钢的锻造余热淬火回火处理的工艺、质量检验。

本标准主要适用于结构钢锻造余热淬火回火处理，也适用于轴承钢和工具钢等钢种作为预备热处理的锻造余热淬火回火处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 224　钢的脱碳层深度测定方法

GB/T 228—2002　金属材料　室温拉伸试验方法（eqv ISO 6892：1998）

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）［GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999 Metallic materials—Rockwell hardness test—Part 1：Test method（scales A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T），MOD］

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第1部分：试验方法［GB/T 231.1—2004，eqv ISO 6506：1999（E）］

GB/T 699　优质碳素结构钢

GB/T 1220　不锈钢棒

GB/T 1222　弹簧钢

GB/T 1298　碳素工具钢技术条件（GB/T 1298—1986，neq ASTM A686：1979）

GB/T 1299　合金工具钢（GB/T 1299—2000，neq ASTM A681：1994）

GB/T 3203　渗碳轴承钢技术条件

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定方法（GB/T 6394—2002，ASTM E112：1996，MOD）

GB/T 9943　高速工具钢棒技术条件（GB/T 9943—1988，ASTM A 600：1979，NEQ）

GB/T 16924　钢件的淬火与回火（GB/T 16924—1997，eqvJIS B6913：1989）

GB/T 18254　高碳铬轴承钢

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1　锻造余热淬火　remaining heat from forging for quenching

钢在高温奥氏体状态经形变后利用锻造余热进行直接淬火，使锻件获得部分或全部马氏体组织的热处理工艺。

3.2　锻造形变量　deformation of forge

一般指工件的工作部位原始截面积的变化程度。

$$\text{锻造形变量}=\frac{\text{原始截面积}-\text{形变后截面积}}{\text{原始截面积}}\times 100\%$$

3.3　锻后停留时间　interval between forging and quenching

钢在完成高温形变后的各个压力加工工序后，至进入淬火冷却介质前的间隔时间。

3.4　锻造余热淬火温度　quenching temperature by remaining heat from forging

钢在高温形变后经过适当时间停留，进入淬火截止前的锻件表面温度。

4　锻热淬火的分类

——自由锻余热淬火；

——模锻余热淬火；

——辊锻余热淬火；

——辊锻加模锻余热淬火；

——热轧余热淬火；

——精锻余热淬火。

5　待锻热淬火件

5.1　待锻热淬火件常用钢号见表1。

表1　待锻热淬火件常用钢号

类　型	标　准　号	钢　　号
结构钢	GB/T 699	20；30；35；40；45；50；55；30Mn；40Mn；50Mn
	锰钢 锰硼钢 铬钢 铬硅钢 铬钼钢 铬镍钼钒钢	40Mn2；45Mn2 40MnB 20Cr；30Cr；40Cr 38CrSi 35CrMo 30CrNi2Mo；35CrNi3MoV
	GB/T 1222	65；65Mn；60Si2Mn
	GB/T 3203	G20CrMo；G20CrNi2Mo；G20Cr2Ni4
	GB/T 18254	GCr15
工具钢	GB/T 1298	T7；T8；T10
	GB/T 1299	9SiCr；CrWMn；3Cr2W8V；Cr12
	GB/T 9943	W18Cr4V；W6Mo5Cr4V2
特殊钢	GB/T 1220	12Cr13；20Cr13；30Cr13；40Cr13

注：与上述钢种类似的钢种，在锻造淬火中也可以采用。

5.2　待锻热淬火件的原始资料见表2。

5.3　待锻热淬火件的外观要求无裂纹和影响锻热淬火件质量的其他缺陷。

表 2 待锻热淬火件的原始资料

项目	说明
待锻热淬火件的数据： 钢号或化学成分 冶金方法及炼钢炉号* 力学性能数据* 硬度试验数据* 热顶锻试验数据* 淬透性试验数据* 金相组织试验数据*	晶粒号、脱碳层深度、非金属夹杂物微观及宏观组织
待锻热淬火件的供货状态： 锻造 热轧	热锻或冷锻，必要时注明锻造比

注：带“*”号的项目，在有特殊要求时才提供数据，一般可以省略。

6 锻热淬火的技术条件及处理设备

6.1 锻造工艺技术条件

6.1.1 锻造加热温度

在保证锻造成形的前提下，选择钢的锻造温度不宜过高。

6.1.2 锻造加热设备

有效加热区内的温度偏差不应超过表 3 规定。炉温应易测可调。

表 3 有效加热区的温度偏差 （单位：℃）

感应加热设备	燃烧炉（燃油、煤气、煤）
±20	±40

6.1.3 锻造加热的装炉量

燃料炉装炉量应按允许脱碳层深度值试验确定。

6.1.4 锻造形变量

形变量应根据满足钢在处理后的冲击性能要求确定，常用钢材最佳形变量范围约为 25% ~ 40%。

6.1.5 锻后停留时间

常用钢材高温形变后停留时间，推荐碳钢不大于 60s；合金钢不大于 20 ~ 60s。

6.2 锻造淬火工艺技术条件

6.2.1 锻造淬火温度

根据钢种、锻造形状、尺寸及力学性能要求，淬火温度应为钢的相变临界点 Ar_3 及 Ar_{cm} 以上或 Ar_{cm} ~ Ar_1 之间的某一温度值。

6.2.2 淬火冷却与淬火冷却介质

淬火冷却时，在一定范围内，应控制适当的冷却速度及冷却时间。淬火冷却介质的应用温度及适用钢种应见表 4。

6.2.3 淬火冷却槽、浴槽应有足够的容积，并配置淬火冷却介质合理循环及浴温的装置。

6.2.4 连续式冷却设备应能调节输送速度，以保证必要的冷却时间。

表4　淬火冷却介质的应用温度及适用钢种

淬火冷却介质	应用温度/℃	适 用 钢 种
水	15～40	碳素结构钢
饱和盐类水溶液	20～70	优质碳素结构钢、合金结构钢
高浓度碱类水溶液	20～60	优质碳素结构钢、合金结构钢
有机水溶液	20～80	优质碳素结构钢、合金结构钢
油类	30～110	优质碳素结构钢、合金结构钢 碳素工具钢、合金工具钢
等温淬火冷却介质	预定温度±20	合金工具钢、高速工具钢
分级淬火冷却介质	预定温度±20	合金工具钢、高速工具钢

6.3　锻热淬火后回火工艺技术条件

6.3.1　为防止淬火件的畸变和开裂，淬火后应及时回火。

6.3.2　根据钢种及力学性能要求选择适当的回火温度、回火时间、加热速度及冷却方式。

6.3.3　回火设备应按 GB/T 16924 规定执行。

6.4　锻热淬火后回火工艺控制

6.4.1　锻造加热温度控制

加热设备应配置温度可测可调装置。

6.4.2　锻热淬火温度控制

应进行监视及定时检测。

6.4.3　回火温度控制

回火应配置温度可测可调装置，必要时应配有温度-时间记录装置。

6.4.4　淬火冷却介质控制

应经常监测及随时调整应用温度，淬火冷却介质冷却特性应定期抽检。

7　锻热淬火回火件的质量检查

7.1　质量检验工作

7.1.1　质量检验工作由质量管理部门负责。在锻造车间、工段或小组设立检查站，进行日常锻热淬火回火工艺质量及锻热淬火回火件的产品质量检查。

7.1.2　质量检验工作实行自检、互检和专检相结合的方式，以专职检验员为主。

7.1.3　检验员按图样规定及有关标准进行检查，并监督工艺正确执行。

7.2　质量检验内容及要求

7.2.1　表面质量

无裂纹和折叠。

7.2.2　表面硬度

表面硬度偏差范围及检验方法，应按 GB/T 16924 规定执行。

7.2.3　力学性能

应符合图样规定的力学性能指标。

7.2.4　金相组织

钢在锻热淬火后奥氏体晶粒号应不低于2号，金相组织符合所用钢种或零件规定的评级标准。

7.2.5　畸变

畸变量应在热处理工艺规定的范围内。

7.3　质量检验方法

7.3.1　无损检测

裂纹及伤痕的检测应包括肉眼鉴别与各类无损检测方法。普通件应做 100% 的肉眼检验，重要件应做 100% 无损检测。

7.3.2　硬度检验

按 GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1 的规定执行。

7.3.3　力学性能检验

按 GB/T 228 规定执行。

7.3.4　一次冲击试验

必要时可采用非标本试验。

7.3.5　金相组织检验

按 GB/T 224、GB/T 6394 规定执行。

金相组织评级应根据不同工艺和零件，按企业标准或行业标准进行检验。

7.4　检验设备

7.4.1　无损检测设备：磁粉探伤机、染色探伤机。

7.4.2　硬度试验机：洛氏硬度计、布氏硬度计、维氏硬度计。硬度计应定期检定。

7.4.3　拉力试验机。

7.4.4　摆锤式冲击试验机。

7.4.5　金相显微镜（配有摄像装置的光学金相显微镜）。

7.5　检验设备的保养

建立定期的保养制度，建立设备档案。

8　产品报告单

产品报告单应包括下列内容：

a）锻热淬火类别；

b）锻热淬火回火工艺类型；

c）锻热淬火回火件的类别；

d）质量检验结果；

e）锻热淬火回火件的重量与数量；

f）操作者姓名或代号；

g）锻热淬火回火处理日期（年　月　日）。

第九节　金属制件在盐浴中的加热和冷却

一、概论

盐浴加热速度快，灵活性大，具有少无氧化效果，适宜于多品种小批量生产，曾被广泛应用，尤其在工模具行业。当前由于工业污染受到国际公约的制约。盐浴所造成的蒸汽、废水会对环境造成危害，即使中性盐浴、氯化钡和亚硝酸盐的毒性也不容忽视，因此在我国大中城市中心区已有禁止设置盐浴的规定。但是在对盐浴蒸汽、废渣、废水施行无害化处理排放的条件下，盐浴热处理一时还难于完全禁止。而铝合金在硝盐浴中的固溶和时效，钢件淬火后的回火以及分级淬冷仍然是汽车、航空工业热处理的首选工艺。因此仍有必要制定在盐浴中加热和冷却的标准，以规范其工艺操作，保证产品质量和安全生产。

在我国制定“盐浴热处理”标准之前，国际上尚未见此类题目的专标，仅在“钢的淬火、回火”“变形铝合金热处理”，以及美国军用标准“热处理工艺”中对加热设备和方式部分提及。JB/T 6048—1992《盐浴热处理》于1992年制定，后来，部分内容已被生产实践证明要求太低，部分重要提示有遗漏，有关安全卫生事项的旧行标已被新国标代替，故2004年对该标准进行了修订。考虑到《盐浴热处理》的标准名称不确切，其中内容主要是金属制件在中性盐浴中的加热、时效和冷却，并不包括在盐浴中的化学热处理，故2004年修订时将名称改为了《金属制件在盐浴中的加热和冷却》。

1. 加热熔盐

熔融金属及熔盐是传统的加热介质，具有工件加热快，氧化脱碳少等优点。一些含活性成分的熔盐还是化学热处理的渗剂。熔融金属过去多用铅，主要用于弹簧钢丝的等温淬火，因有毒，现在很少使用。盐浴多用于中小件，如工模具的整体热处理，个别情况下也有用于表面加热的。

（1）加热熔盐的成分及用途。一般热处理加热常使用两种或两种以上的混合盐。热处理对熔盐的具体要求是：成分稳定；对工件、坩埚和炉衬耐火材料侵蚀性小；对金属和钢材的氧化脱碳不严重；蒸发损失小；工件的带出损失小；处理后的工件表面易清理；无毒、不污染环境。金属及其化合物的熔点列于表2.9-1。盐浴成分、特点和用途见表2.9-2。

表2.9-1　金属及其化合物的熔点　（单位:℃）

金属 酸根	一价金属盐					二价金属盐					三价盐	
	Li	Na	K	Rb	Cs	Ca	Sr	Ba	Be	Mg	Al	Ce
	179	97.7	63.5	3900	28.45	808	≈800	850	1276	650	660	804
F	845	992	857	790	684	1354	902	1280	—	1270	—	1324
Cl	609	801.3	773.2	714.5	638	776	872	961	425	714	190	848
Br	548	763	739	675.5	631.5	745	643	865	490	711	95	—
I	450	660.3	683.4	639.7	621.0	740	507	740	510	—	190	752
O	—	318.4	360.4	301	—	2574	2430	1923	2450	2800	2030	1092
S	445	445	471	420	460	—	—	—	—	—	1100	—
CO_3	618	851	891	837	—	1314	1497	1740	—	—	—	—
SO_4	856	884	1069.5	1062.5	1007.5	1450	1580	1580	—	1124	—	—
NO_3	264	308	—	309.5	410.5	~560	570	692	—	—	—	—

表2.9-2　盐浴成分、特点和用途

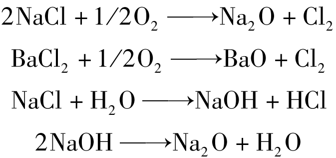
类别	盐浴成分及配比（质量分数,%）	熔点/℃	使用温度/℃	特　点	用途
低温盐浴	20NaOH+80KOH,另加$6H_2O$	130	150~250	1）$NaNO_3$-KNO_3盐浴应用最为普遍,但易使钢件氧化侵蚀,高温易分解 2）$NaNO_2$-KNO_3盐浴以摩尔比1:1使用最多,熔点为150~400℃,在425℃以上钢件易受氧化侵蚀 3）硝盐浴中混入油脂、氰化物、炭粉,易爆炸,非常危险 4）含NaOH、KOH的新浴在500℃以上引起工件严重氧化,随时间推移,逐渐减弱	1）铝合金固溶及时效 2）结构钢、工模具钢回火 3）工模具钢、球墨铸铁等温及分级淬火
	35NaOH+65KOH	155	170~250		
	$45NaNO_3+27.5NaNO_2+27.5KNO_3$	120	240~260		
	37NaOH+63KOH	159	180~350		
	$60NaOH+15NaNO_3+15NaNO_2+10Na_3PO_4$	280	380~500		
	$95NaNO_3+5Na_2CO_3$	304	380~520		
	$25KNO_3+75NaNO_3$	240	380~540		
	$75NaOH+25NaNO_3$	280	420~540		
	$50NaNO_3+50KNO_2$	143	160~550		
	$50KNO_3+50NaNO_3$	220	280~550		
	$50NaNO_2+50KNO_3$	225	280~550		
	$100NaNO_3$	271	300~550		
	$100KNO_3$	337	350~550		
	$100NaNO_2$	317	325~550		
	$25NaNO_2+25NaNO_3+50KNO_3$	175	205~600		
	$50NaNO_3+50NaNO_2$	205	260~600		
	100KOH	360	400~650		
	100NaOH	322	350~700		
	60NaOH+40NaCl	450	500~700		

（续）

类别	盐浴成分及配比（质量分数，%）	熔点/℃	使用温度/℃	特　点	用途
中温盐浴	$44NaCl+56MgCl_2$	430	480～780	1）$BaCl_2$-KCl 盐浴以摩尔比 2∶3（质量分数为 67.2% $BaCl_2$ +32.8% KCl）最稳定 2）$BaCl_2$-NaCl 盐浴很稳定，钢件易产生点蚀，油淬火后表面盐难清除，以摩尔比 2∶3（质量分数为 70% $BaCl_2$ +30NaCl）盐使用最广 3）$BaCl_2$-$CaCl_2$ 浴流动性好，在大气中放置会大量吸收水分，重新加热盐易劣化 4）$CaCl_2$-NaCl 浴流动性好，吸湿，工件易生锈 5）$BaCl_2$-NaCl-KCl 盐浴性质与 $BaCl_2$-NaCl 和 $BaCl_2$-KCl 无大差别，但可消除点蚀	1）结构钢、碳素工具钢、合金工具钢淬火加热 2）高速钢预热、回火、等温淬火 3）钢铁和非铁金属钎焊
	$21NaCl+31BaCl_2+48CaCl_2$	435	480～780		
	$27.5NaCl+72.5CaCl_2$	500	550～800		
	$50KCl+50Na_2CO_3$	560	590～820		
	$33.7NaCl+66.3LiCl$	552	570～850		
	$20NaCl+30KCl+50BaCl_2$	560	580～850		
	$45KCl+45Na_2CO_3+10NaCl$	590	630～850		
	$10NaCl+45KCl+45Na_2CO_3$	595	630～850		
	$50BaCl_2+50CaCl_2$	595	630～850		
	$50KCl+20NaCl+30CaCl_2$	530	560～870		
	$34NaCl+33BaCl_2+33CaCl_2$	570	600～870		
	$73.5KCl_2+26.5CaCl_2$	600	630～870		
	$40.6BaCl_2+59.4Na_2CO_3$	606	630～870		
	$22.5NaCl+77.5BaCl_2$	635	665～870		
	$50BaCl_2+20NaCl+30KCl$	560	580～880		
	$83.7BaCl_2+16.3Na_2CO_3$	640	680～880		
	$55NaCl+45BaCl_2$	640	670～900		
	$50NaCl+50Na_2CO_3(K_2CO_3)$	560	590～900		
	$35NaCl+65Na_2CO_3$	620	650～900		
	$67.2BaCl_2+32.8KCl$	646	670～900		
	$44NaCl+56KCl$	607	720～900		
	$50BaCl_2+50NaCl$	600	650～1000		
	$50BaCl_2+50KCl$	640	670～1000		
	$50NaCl+50KCl$	670	720～1000		
	$80\sim90BaCl_2+20\sim10NaCl$	～760	820～1090		
	$-100Na_2CO_3$	852	900～1000		
	100KCl	772	800～1000		
	100NaCl	810	850～1100		
	$5NaCl+9KCl+86Na_2B_4O_7$	640	900～1100		
	$27.5KCl+72.5Na_2B_4O_7$	660	900～1100		
	$14NaCl+86Na_2B_4O_7$	710	900～1100		
	$90BaCl_2+10NaCl$	～870	950～1100		
高温盐浴	$100BaCl_2$	960	1000～1350	1）$BaCl_2$ 单盐高温易蒸发氧化变质快 2）添加高熔点氟盐可减少蒸发，但侵蚀金属和炉衬 3）硼砂盐浴防氧化脱碳作用不明显，且难熔化，盐浴黏性大，附在工件上不易清除，故很少用于一般加热，主要用作渗硼、渗金属的基盐	1）高速钢淬火加热 2）高强度不锈钢固溶处理 3）高温钎焊
	$95BaCl_2+5NaCl$	850	1000～1350		
	$70BaCl_2+30Na_2B_4O_7$	940	1050～1350		
	$95\sim97BaCl_2+5\sim3MgF_2$	940～950	1050～1350		
	$50BaCl_2+39NaCl+8Na_2B_4O_7+3MgO$	—	780～1350		

（2）熔盐的化学反应及其与钢的作用

1）熔盐的老化变质反应。熔盐和大气中的氧以及内部溶解的氧，水分在高温下发生以下反应：

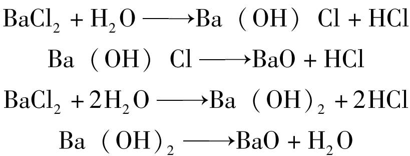


$$2NaCl+1/2O_2 \longrightarrow Na_2O+Cl_2$$

$$BaCl_2+1/2O_2 \longrightarrow BaO+Cl_2$$

$$NaCl+H_2O \longrightarrow NaOH+HCl$$

$$2NaOH \longrightarrow Na_2O+H_2O$$



$$BaCl_2 + H_2O \longrightarrow Ba(OH)Cl + HCl$$
$$Ba(OH)Cl \longrightarrow BaO + HCl$$
$$BaCl_2 + 2H_2O \longrightarrow Ba(OH)_2 + 2HCl$$
$$Ba(OH)_2 \longrightarrow BaO + H_2O$$

随着熔盐在大气中曝露时间的延续，Na_2O、BaO 会逐渐增多，连续不断地产生 Cl_2、HCl 和 H_2O，如不及时采取脱氧措施，便会导致盐浴老化，使钢产生严重的氧化和脱碳。反应生成物 Cl_2、HCl 也会引起工件、金属坩埚和耐火炉衬的严重腐蚀。图 2.9-1 所示为 70% NaCl + 30% $BaCl_2$ 盐浴在 800℃于不同条件下保持时的老化情况[㊀]。

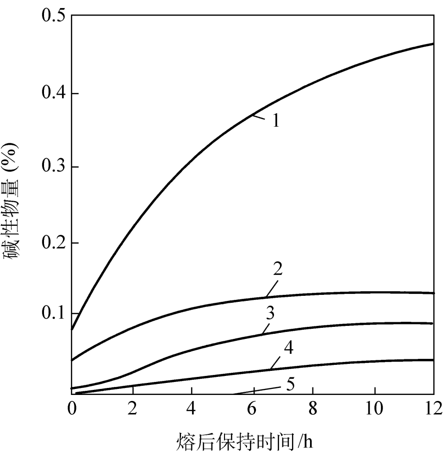
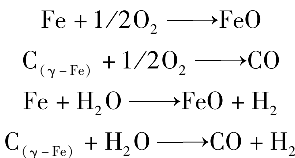


图 2.9-1　70% NaCl + 30% $BaCl_2$ 盐浴在 800℃时的老化

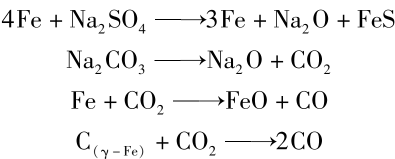
1—盐浴表面饱和水蒸气　2—常温大气压下饱和水分　3—含水分的 N_2　4—干燥空气　5—干燥 N_2

2）熔盐和钢表面的作用。溶解在盐浴中的氧和水分对钢有氧化脱碳反应：



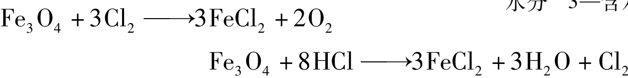
$$Fe + 1/2O_2 \longrightarrow FeO$$
$$C_{(\gamma-Fe)} + 1/2O_2 \longrightarrow CO$$
$$Fe + H_2O \longrightarrow FeO + H_2$$
$$C_{(\gamma-Fe)} + H_2O \longrightarrow CO + H_2$$

熔盐中的硫酸盐和碳酸盐等杂质与钢表面反应引起侵蚀、氧化与脱碳：



$$4Fe + Na_2SO_4 \longrightarrow 3Fe + Na_2O + FeS$$
$$Na_2CO_3 \longrightarrow Na_2O + CO_2$$
$$Fe + CO_2 \longrightarrow FeO + CO$$
$$C_{(\gamma-Fe)} + CO_2 \longrightarrow 2CO$$

盐浴反应生成的腐蚀性气体 Cl_2、HCl 与钢表面已形成的氧化膜发生反应：



$$Fe_3O_4 + 3Cl_2 \longrightarrow 3FeCl_2 + 2O_2$$
$$Fe_3O_4 + 8HCl \longrightarrow 3FeCl_2 + 3H_2O + Cl_2$$

所产生的 $FeCl_2$ 挥发性强，使整个反应得以向右方进行。

（3）盐中的杂质对产品质量的影响。由上述可知，盐浴成分本身的氧化和盐中的硫酸盐、碳酸盐等都会引起钢件表面的氧化、脱碳，甚至导致工件表面、电极和盐包的腐蚀。表 2.9-3 所列为盐浴中的各种杂质对热处理质量的影响。

表 2.9-3　盐浴中的各种杂质对热处理质量的影响

杂质	对工件质量的影响	改善措施
Na_2SO_4，$CaSO_4$，$MgSO_4$	工业 NaCl 中常含质量分数为 0.5% ~1% 的此类硫酸盐。后者在高温分解：$Na_2SO_4 \longrightarrow Na_2O + SO_3$，$2SO_3 \longrightarrow 2SO_2 + O_2$，生成氧化物，助长钢的氧化、脱碳，并与钢中的 Fe 作用：$2Fe + 2Na_2SO_4 \longrightarrow 2FeS + 3O_2 + 2Na_2O$，产生的 FeS 对工件有侵蚀，在钢件表面形成点蚀	1）新盐浴经 10 ~ 15h 时效后，侵蚀、氧化脱碳减轻 2）定期加脱氧剂 3）用石灰乳 $Ca(OH)_2$ 精制
$BaSO_4$	$BaSO_4$ 是高温用盐 $BaCl_2$ 中的杂质。在高温下分解：$BaSO_4 \longrightarrow BaO + SO_2 + 1/2O_2$，对高速钢刀具有强烈腐蚀作用，并引起氧化脱碳，尤其是新盐浴，点蚀作用强烈	

㊀ 老化情况以折算成的 Na_2O 百分比来衡量。具体测定方法是取 2g 盐样，溶于 40mL 的水中，然后再用 0.02mol/L 的 HCl 溶液进行滴定。

（续）

杂质	对工件质量的影响	改善措施
$CaCl_2$，$MgCl_2$	极易吸湿，助长水分的不良影响，对钢有明显的侵蚀	1）用前干燥 2）停炉时要防止吸水 3）用石灰乳精制产生 Ca、Mg 盐沉淀，然后除去
Na_2CO_3，$CaCO_3$，$MgCO_3$	含碳酸盐盐浴本身呈碱性。在熔化初期有较强的氧化脱碳作用，在大于800℃经15～20h碱性物挥发，氧化脱碳逐渐减小	新盐时效后使用
NaOH，KOH	含苛性碱浴具有强碱性。在约500℃时易使钢表面产生氧化膜，不会引起点蚀。但由于 NaOH 的饱和蒸气压高，因而极易蒸发。新盐经15～20h后氧化脱碳明显减轻	新盐时效后使用

2. 熔盐在高温下的蒸发和工件带出损失

熔盐在高温下的蒸发速度和带出损失决定着盐的消耗和生产成本，因此是加热用盐的第二个重要指标。表2.9-4所列为各种盐浴蒸发速度的实测数据。图2.9-2～图2.9-6所示为常用盐浴在不同温度下的粘附量㊀。

表2.9-4 各种盐浴蒸发速度的实测数据①

熔盐（质量比）	温度/℃	标准蒸发速度/[mg/(cm²·h)]	蒸发系数 α
NaCl	1000	51.0	-5.2×10^3
KCl	1000	85.1	-3.6×10^3
$BaCl_2$	1000	46.8	-5.5×10^3
$CaCl_2$	1000	36.2	-4.0×10^3
$MgCl_2$	700	297.8	-3.6×10^3
$NaNO_3$	700	40.4	-1.9×10^3
KNO_3	550	40.5	-2.7×10^3
KOH	550	182.9	-1.3×10^3
NaCl + $BaCl_2$（3∶1）	1000	44.6	-5.7×10^3
NaCl + $BaCl_2$（1∶1）	1000	40.4	-5.0×10^3
NaCl + $BaCl_2$（1∶3）	1000	34.0	-6.0×10^3
NaCl + KCl（1∶1）	900	57.4	-3.7×10^3
KCl + $BaCl_2$（1∶1）	900	38.3	-3.5×10^3
NaCl + KCl + $BaCl_2$（1∶1∶1）	900	23.4	-4.2×10^3
KCl + $CaCl_2$（3∶1）	1000	61.7	-4.4×10^3
$CaCl_2$ + $BaCl_2$（1∶1）	1000	14.9	-4.7×10^3
$NaNO_3$ + KNO_3（3∶1）	700	80.8	-2.2×10^3
NaCl + $MgCl_2$（3∶1）	700	36.2	-3.2×10^3
NaCl + $MgCl_2$（1∶1）	700	68.1	-3.0×10^3
NaCl + $MgCl_2$（1∶3）	700	170.2	-2.2×10^3
KCl + $MgCl_2$（1∶1）	700	96.6	-4.0×10^3
AlF_3 + NaF（63∶37）	1000	76.6	-4.2×10^3
AlF_3 + NaF + Al_2O_3	1000	85.1	-4.4×10^3
（60% +35% +5%）			

① 用本多式热天平测定。

㊀ 测试方法为：20mm×20mm×1mm 钢试片在 ϕ60mm×70mm 盐浴中加热3min，然后以10mm/s速度抽出称重。

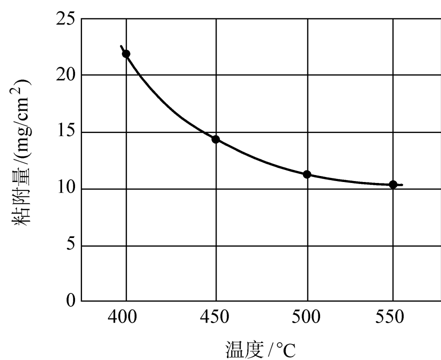


图 2.9-2　$NaNO_3$ 浴的粘附量和温度的关系

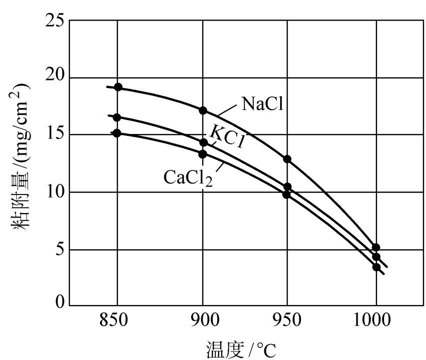


图 2.9-3　NaCl、KCl、$CaCl_2$ 单盐的粘附量和温度的关系

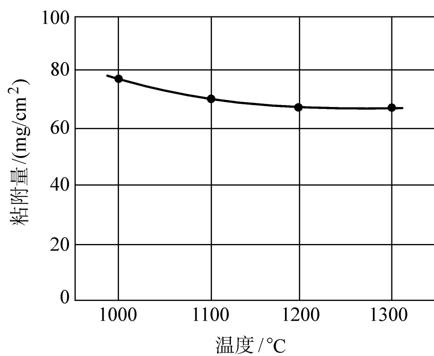


图 2.9-4　$BaCl_2$ 单盐的粘附量和温度的关系

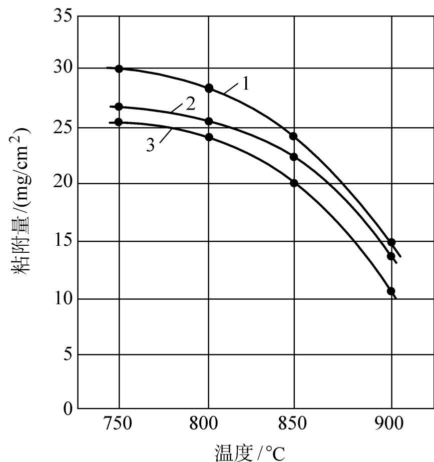


图 2.9-5　$BaCl_2$ + NaCl 混合浴的粘附量和温度的关系

1—30% NaCl　2—50% NaCl　3—70NaCl

3. 盐浴的脱氧、盐浴校正剂和不脱氧长效盐

盐浴脱氧是一个复杂问题。目前尚无可以完全避免工件氧化脱碳，而又不腐蚀炉衬电极的理想盐浴校正剂，而且生产中脱氧和捞渣的劳动强度很大。因此，研制可显著减轻工件的氧化脱碳、无须脱氧，仅在损耗后补充新盐的长效盐对方便生产和提高产品质量具有重要意义。

由前述可知，引起钢表面受侵蚀、氧化和脱碳的原因是盐浴中的杂质、盐浴高温分解反应，盐浴中溶解的氧、水分、盐浴表面和大气中氧的反应。为了消除盐浴中氧和氧化物的不良影响，可采取定期脱氧措施，即定期往盐浴中加入脱氧物质。这些物质通过和盐中的氧与氧化物的还原作用，产生不溶解的沉淀，然后通过捞渣除去沉淀物而使盐浴再生。

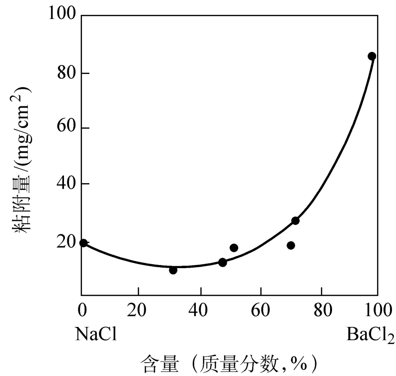


图 2.9-6　$BaCl_2$ + NaCl 混合浴的粘附量随成分的变化（900℃）

常用的脱氧物质（盐浴校正剂）有：木炭、SiC、硅胶（SiO_2）、Ca-Si、Mg-Al、TiO_2、MgF_2、$Na_2B_4O_7$、$K_4Fe(CN)_6$、NaCN 等。常用盐浴校正剂的脱氧反应、使用条件及脱氧效果见表 2.9-5。表 2.9-6 所列为在 30% $BaCl_2$ + 70% NaCl 混合盐浴

中，于900℃加入不同量的各种盐浴校正剂的效果。

表2.9-5 常用盐浴校正剂的脱氧反应、使用条件及脱氧效果

盐浴校正剂	脱 氧 反 应	使用条件	脱氧效果
木炭	$Na_2SO_4+4C \rightarrow 4CO\uparrow+Na_2S$	用约15mm的炭块，经清水冲洗干燥后插入盐浴中	可除去盐浴中的硫酸盐杂质
SiC	$2Na_2CO_3+SiC \rightarrow Na_2SiO_3+Na_2O+2CO+C$	粒度100～120目	产生的CO、C可使氧化物还原，但脱氧效果不理想
硅胶(SiO_2)	$BaO+SiO_2 \rightarrow BaSiO_3\downarrow$	与TiO_2配合使用	脱氧作用较弱，对电极有严重侵蚀
Ca-Si	$2Ca+O_2 \rightarrow 2CaO$ $Si+O_2 \rightarrow SiO_2$ $Ca+BaO \rightarrow CaO+Ba$ $2BaO+5Si \rightarrow 2BaSi_2+SiO_2$ $Ca+SiO_2 \rightarrow CaSiO_3\downarrow$ $BaO+SiO_2 \rightarrow BaSiO_3\downarrow$	Ca-Si的成分(质量分数)为：Si60%～70%，Ca20%～30%，少量Fe、Al。添加后具有迟效性，在高温保持15～20min后才能进行工件加热，在高温(>1200℃)不易捞渣	作用时间长，和TiO_2并用能弥补TiO_2的迟效性不佳
Mg-Al	$4Al+3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3$ $Al_2O_3+Na_2O \rightarrow 2NaAlO_2\downarrow$	粒度0.5～1mm，Mg:Al=1:1(质量比)，具有速效性	具有强烈脱氧、脱硫作用，适于中温盐浴脱氧
TiO_2	$TiO_2+BaO \rightarrow BaTiO_3\downarrow$ $TiO_2+FeO \rightarrow FeTiO_3\downarrow$	不易捞渣，最好与硅胶配合使用	脱氧作用强，速效性好，迟效性差，适用于1000℃以上的高温浴，1000℃以下不宜单独使用
$Na_2B_4O_7 10H_2O$	$Na_2B_4O_7 \rightarrow 2NaBO_2+B_2O_3$ $B_2O_3+BaO \rightarrow Ba(BO_2)_2$ $B_2O_3+FeO \rightarrow Fe(BO_2)_2$	使用前先脱去结晶水，加入量大(质量分数为2%～5%)	不能完全防止脱碳，易侵蚀炉衬和电极
MgF_2	$MgF_2+BaO \rightarrow BaF_2+MgO$ $MgO+Fe_2O_3 \rightarrow MgO \cdot Fe_2O_3\downarrow$	对工件、炉衬、电极有侵蚀，添加萤石可缓和	添加萤石用于高温盐浴脱氧效果好，腐蚀小
NaCN	$2NaCN+O_2 \rightarrow 2NaCNO$ $2NaCNO+O_2 \rightarrow Na_2CO_3+CO+2N$	剧毒，一般很少用	脱氧效果好，产生的碳酸盐会迅速使盐浴劣化
$K_4Fe(CN)_6$	$K_4Fe(CN)_6 \rightarrow 4KCN+Fe(CN)_2$ $K_4Fe(CN)_6 \rightarrow 4KCN+Fe+2C+2N$ $2KCN+O_2 \rightarrow 2KCNO$ $2KCNO+O_2 \rightarrow K_2CO_3+CO+2N$	反应产物有毒，已很少用	具有和NaCN相同的缺点

表2.9-6 不脱氧长效盐

使用温度/℃	盐浴成分及配比(质量分数,%)	使用条件	使用效果
700～940	$67.9BaCl_2+30NaCl+2MgF_2+0.1B$	MgF_2在900℃、$BaCl_2$在600℃、NaCl在400℃焙烧	用$w(C)=1.4\%$、厚0.08mm钢片在900℃保持10min测定盐浴活性。经30～40h后，钢片$w(C)=1.3\%$～1.35%。用9SiCr钢检验无脱碳层
	$66.8BaCl_2+30NaCl+3Na_2B_4O_7+0.2B$	硼砂预先经600℃焙烧，使用无晶形硼	用上述方法测试的钢片$w(C)=1.24\%$～1.30%。经60天使用，处理40万件各种钢件脱碳质量合格
	$52.8KCl+44NaCl+3Na_2B_4O_7+0.2B$	硼砂经500～600℃焙烧3h	在250kg盐浴中，于760～820℃进行了T12钢丝锥加热，然后在碱浴中淬火。使用2个月后钢片试验的$w(C)$都保持在1.28%～1.30%

（续）

使用温度/℃	盐浴成分及配比（质量分数，%）	使用条件	使用效果
950～1050	$87.9BaCl_2 + 10NaCl + 2MgF_2 + 0.1B$	含 MgF_2 1.5%（质量分数）效果不良	钢片试验结果，w（C）保持在 1.05%。但在 1050℃使用时，在前 20～30h 盐浴面有薄膜和熔渣加热操作有困难
	$85.8BaCl_2 + 10NaCl + 4Na_2B_4O_7 + 0.2B$	硼砂经焙烧后盐浴稳定性好	钢片试验，w（C）保持 1.30% 以上
	$87.8BaCl_2 + 10NaCl + 2Na_2B_4O_7 + 0.2B$		
	$94.8BaCl_2 + 5MgF_2 + 0.2B$		
	$96.8BaCl_2 + 3MgF_2 + 0.1B$		
	$96.4BaCl_2 + 3Na_2B_4O_7 + 0.6B$	硼砂预先焙烧盐浴稳定性好	经一昼夜后钢片试验结果 w（C）保持在 1.4%～1.3%，经 45h 可保持 1.1%

二、标准应用说明

本标准修订的原则首先是使题目和内容相一致，使适用范围更明确和更有针对性。引用标准中所列完全是新制修订标准，并有适当补充和删除。在术语中为避免和工艺材料术语的重复，删去了部分词条，也补充了必要的词条，明确了盐浴的加热和冷却最适用的各种热处理工艺。在设备、盐浴成分、盐浴使用过程中的校正、热处理时在盐浴中的加热和冷却具体工艺，以及安全卫生注意事项都做了多处修改和补充。

本标准共分 10 章。第 1 章的主题内容在文字上做了删减，在适用范围中明确规定了在中性盐浴或硝盐浴中的加热和冷却，同标准的题目准确对应。在第 2 章引用的标准中删去了碳素钢技术条件，因为此处列这项标准必要性不大，其次只列碳素钢而不列其他材料，挂一漏万，也不妥当。补充了对金属材料的盐浴热处理质量有重要影响的热处理炉有效加热区测定和工艺材料名词术语的标准。在安全卫生要求上，用 GB 15735 的强制性标准代替了 JB 4406 的推荐性作废标准。在第 3 章的术语中删去了工艺材料术语已有的高温、中温和低温盐浴的定义，补充了作为盐浴主要使用性质的带出损耗一条和减少盐的氧化与节约电能有重要作用的覆盖剂一条。在第 4 章中笼统地提示了可能被加热和冷却的各种金属材料，省略了各种材料的成分性能和规格。增添了第 5 章，明确提出了盐浴加热适用于钢的奥氏体化、等温、分级淬冷和回火，以及沉淀硬化、不锈钢和铝合金等材料的固溶处理与时效，而排除了与主题无关的在活性盐浴中的化学热处理（各有专项标准论及）。在第 6 章的设备中分别对高温、中温和低温盐浴，特别对测量控温精度和有效加热区测定做了要求，提出了在有效加热区内炉温均匀性的规定。对铝合金固溶处理的硝盐浴的测控温精度和炉温均匀度，以及超温断电和声响报警等都做了提示。提出了低温盐浴在钢的等温分级淬冷时，采取冷却和搅动措施对减少工件畸变和保证质量均匀性的重要作用。在第 7 章中保留了原标准推荐的盐浴成分，特别补充提出对硫酸盐杂质的控制要求和必须满足 JB/T 9202《热处理用盐》对各种盐中杂质量的规定。对高、中温盐浴的校正制度做了具体规定，补充了使用长效盐的途径，提出了盐浴的校正后和补充长效盐后必须捞渣的要求。第 8 章中规定了在盐浴中加热和冷却的工艺过程和保证产品质量和安全生产注意事项，指出投产前的各项准备，包括核对工件材料、技术要求、规定的热处理工艺是否合理等。检查工件表面状态是否有裂纹、划伤、磕碰伤等，以便作为以后出现废品时分析原因的依据。检查设备、仪表、感温元件是否正常，并按规定校验。检查工件在盐浴加热前是否为干燥状态等。在装炉注意事项中，特别提出工件装炉位置不得超出有效加热区，高温盐浴用光电高温计测

量控制炉温时，光电感温元件必须是对盐浴净面。工件在中温盐浴的加热时间规定为0.7min/mm，在高、中、低温加热时的时间大约为1∶3∶5。在冷却过程中，特别指出在活性盐浴（主要是指在氰盐中的渗碳或碳氮共渗）中加热后不可在硝盐浴中等温或分级淬冷。工件在盐浴中加热和冷却后的处理，如清洗和防锈仍采用原标准规定。质量的检查内容主要是脱碳。因为中性盐浴在理想校正状态下应属无氧化少脱碳加热介质，钢材脱碳后力学性能有明显变化，所以须严格检验脱碳程度。钢件在盐浴中加热奥氏体化后，在硝盐中等温或分级淬火可明显减少畸变，属精密热处理工艺。有的精密零件的畸变要求严格，在淬火冷却后尚须测量畸变程度。（北京机电研究所樊东黎供稿）

三、标准内容（JB/T 6048—2004）

金属制件在盐浴中的加热和冷却

1 范围

本标准规定了对盐浴加热和冷却设备、盐浴成分和性质、加热和冷却工艺操作、安全卫生事项及对环境影响等方面的要求。

本标准适用于金属制件在中性盐浴或硝盐浴中的加热和冷却。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 223.1　钢铁及合金中碳量的测定
GB/T 8121　热处理工艺材料　术语
GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法
GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求
GB/T 16923　钢件的正火与退火（eqv JIS B6911：1987）
GB/T 16924　钢件的淬火与回火（eqv JIS B6913：1989）
JB/T 4390　高、中温热处理盐浴校正剂
JB/T 5073　热处理车间空气中有害物质的限值
JB/T 5266　间接电阻炉　RY 系列电热浴炉
JB/T 6047　热处理盐浴有害固体废物无害化处理方法
JB/T 9202　热处理用盐
JB/T 9052　热处理盐浴有害固体废物污染管理的一般规定
HB/Z 276　变形铝合金零件热处理

3 术语和定义

GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　中性盐浴　neutral salt bath

中性盐（如碱金属与碱土金属氯化盐、碱金属碳酸盐或其混合盐）加热熔化后形成的液态介质。

3.2　硝盐浴　salt for low-temperature bath

硝酸盐、亚硝酸盐或其混合盐加热熔化后形成的液态介质。

3.3　箔片脱碳率　decarburize rate with steel foil

钢箔片加热前原始含碳量和加热后剩余含碳量的差值与箔片加热前原始含碳量之比的百分数。

3.4 盐的带出损耗 salt loss

金属制件在盐浴中加热后取出冷却时，表面和沟槽会附着盐而造成盐的损失。后者取决于盐浴的黏度、盐对金属制件的附着力、工件的形状和表面粗糙度。

3.5 覆盖剂 coverture

为避免盐的氧化和减少表面热损失，覆盖在盐浴表面的物质。一般选用石英砂、氧化铝块、碳化硅、木炭、焦炭或石墨粉（块）。

4 被加热和冷却的金属制件

各种结构钢、工模量具钢、高速钢、弹簧钢、轴承钢、马氏体型不锈钢、沉淀硬化不锈钢、固溶时效的铝合金等。

5 适用的热处理工艺

钢的奥氏体化加热、等温或分级淬火冷却、回火，不锈钢、铝合金的固溶处理和时效。

6 设备

6.1 高温盐浴炉（950℃以上）

6.1.1 适用于高速钢、冷热作模具用钢的奥氏体化及高强度不锈钢的固溶处理，通常为电极式盐浴炉。

6.1.2 有效加热区的保温精度应保证在±10℃。

6.1.3 为减轻盐的氧化和减少热损失，盐浴表面应放置覆盖剂。

6.1.4 须用光电高温传感器和高精度仪表测量和控制温度，控温精度应保证在±10℃。光电高温感温元件应直对盐浴净表面。

6.1.5 按GB/T 9452每年检查两次炉温均匀度。

6.2 中温盐浴炉（650~950℃）

6.2.1 适用于结构钢、工模具及球墨铸铁的奥氏体化及工模具钢奥氏体化的预热，通常为外热式坩埚盐浴炉或内热式电极盐浴炉。

6.2.2 有效加热区的保温精度应保证在±10℃。

6.2.3 用插入式铠装WRN或WRE型热电偶和适当精度测温仪表，保温精度应保证在±10℃。

6.2.4 按GB/T 9452每年检测两次有效加热区炉温均匀度。

6.3 低温盐浴炉（650℃以下）

6.3.1 适用于结构钢、工模具钢奥氏体化后的等温分级淬冷，回火及铝合金固溶处理，一般为外热式坩埚炉。

6.3.2 用作等温或分级淬冷时，有效加热区的炉温均匀度应保证在±10℃。用作铝合金固溶处理时的保温精度应保证在±3℃或满足工艺要求。

6.3.3 用插入式铠装WRF型热电偶或铠装WZP热电阻和适当精度测温仪表，保温精度应保证在±5℃。

6.3.4 等温分级淬冷用盐浴须设水套或蛇形管道通水冷却和螺旋桨搅拌设施。铝合金固溶处理盐浴也应有搅拌设施。

6.3.5 按GB/T 9452每年检测两次有效加热区。

6.4 其他技术条件

6.4.1 电热盐浴炉应符合JB/T 5266的规定。

6.4.2 应配备顶抽风或侧抽风系统以改善作业环境。

6.4.3 各种盐浴炉，尤其是低温硝盐炉，必须配备超温断电和报警设施。

7 盐浴

7.1 盐浴成分与质量要求

7.1.1 推荐采用的盐浴成分和使用温度范围见表1。

7.1.2 混合盐浴中各种单盐的杂质，尤其是硫酸盐含量必须满足JB/T 9202中的规定。

7.1.3 $BaCl_2$、NaCl和KCl在配制新盐浴前必须施行脱水处理。

$BaCl_2$ 500℃×(3~4)h，NaCl、KCl 400℃×(2~4)h。

7.1.4 中、高温盐浴应保证表2所列的对钢脱碳的性能要求。

7.2 盐浴校正

7.2.1 中温盐浴每生产班次施行1次校正，高温盐浴每生产班次施行2次校正，校正后应适当搅动并捞渣。

表1 盐浴成分和使用温度

盐浴种类	盐浴成分质量配比	熔化温度/℃	使用温度/℃
中性盐浴	100% $BaCl_2$	960	1100~1300
	85%~95% $BaCl_2$+15%~5% NaCl	760~850	900~1100
	70%~80% BaCl+30%~20% NaCl	635~700	750~1000
	50% $BaCl_2$+50% NaCl	640	700~900
	50% KCl+50% NaCl	670	720~950
	50% $BaCl_2$+30% KCl+20% NaCl	560	580~880
硝盐浴	100% KNO_3	337	350~600
	100% $NaNO_3$	317	350~600
	50% KNO_3+50% $NaNO_3$	218	230~550
	50% KNO_3+50% $NaNO_2$	140	150~550
	55% KNO_3+45% $NaNO_2$（附加3%~5% H_2O）	137	150~360

表2 中、高温盐浴的脱碳性能

箔片脱碳率 ΔC_p（质量分数,%）		适用范围
中温盐浴	高温盐浴	
≤30	≤40	脱碳敏感性强的钢件 表面质量要求高的特殊重要钢件
≤50	≤60	一般钢件

7.2.2 盐浴校正剂应按JB/T 4390规定选择。

7.2.3 使用含有校正剂的长效盐在补充新盐时即可使盐浴得到校正，但须经常捞渣。

7.3 检验

7.3.1 应按附录A规定的方法定期进行中、高温盐浴对钢的脱碳性能的检验。

7.3.2 对等温、分级淬冷的硝盐浴应定期检验其Cl^-离子含量（一般<0.5%）。

8 盐浴加热和冷却工艺

8.1 生产前准备

8.1.1 检查工件材料、技术要求和热处理规范是否有误。

8.1.2　检查工件表面状态和缺陷。
8.1.3　检查盐浴成分是否符合工件工艺要求。
8.1.4　检查设备、仪表是否正常，热电偶是否定期校对，温度—毫伏对应是否正常。
8.1.5　检查烘干工具和夹具是否良好。
8.2　装炉
8.2.1　将烘干的小工件装筐，小批量中、小工件用铁丝捆绑，大工件用夹具吊装入炉。
8.2.2　工件在炉中的位置不应超出有效加热区的范围。
8.2.3　工件在高温盐浴中加热时，其装炉位置不应影响光电高温传感器式的高精度仪表的温度测定。
8.3　加热
8.3.1　工件的加热温度与保持时间严格按工艺规程执行。
8.3.2　钢件在中温盐浴中的加热时间按每毫米直径或厚度需 0.7min 计算，高、中、低温盐浴加热时间按 1∶3∶5 计。
8.3.3　中、高合金钢或形状复杂的或截面尺寸较大的工件在淬火加热前应进行预热。必要时，应多次预热。
8.3.4　工件淬火后应及时回火。要求多次回火时，每次回火后均应冷至室温。
8.4　冷却
8.4.1　工件在盐浴中冷却时，盐浴的温度波动一般应不超过 ±20℃（适用于分级淬冷）或 ±10℃（适用于等温淬冷）。
8.4.2　在活性盐浴中（含 C）加热的工件不可在硝盐中等温或分级淬冷。
8.5　清洗与防锈
8.5.1　工件按工艺规定冷到室温后应及时清洗残盐并干燥。
8.5.2　盐浴加热淬火后，工件在进入硝盐浴回火前必须清洗干净。
8.5.3　必要时，工件在清洗后应进行防锈处理。

9　质量检验

9.1　钢件盐浴热处理后的质量检验应按 GB/T 16924 或 GB/T 16923 的有关规定进行。形变铝合金件盐浴热处理后的质量检验应按 HB/Z 276 的有关规定进行。
9.2　有规定时，尚需对工件淬冷或时效后的畸变进行测定。

10　安全与环境保护

10.1　安全
10.1.1　盐浴热处理的安全操作应符合 GB 15735 的有关规定。
10.1.2　严禁将硝盐带入中、高温盐浴。
10.1.3　氯化钡属剧毒品、硝盐属有毒品，均应按有关规定存放在专门地点并由专人保管。
10.1.4　严禁封闭空心工件在盐浴中加热。带孔及管状工件应注意加热方向。
10.1.5　严禁将在氰盐中进行液体渗碳的工件转移至硝盐中等温或分级淬冷。
10.2　环境保护
10.2.1　钡盐渣和硝盐渣的污染控制应符合 JB/T 9052 和 JB/T 6047 的有关规定。
10.2.2　盐浴热处理工作地点空气中有害物质含量应符合 JB/T 5073 的有关规定。
10.2.3　有害物质超标的盐浴热处理固体、气体或液体废物应经无害化处理，达到国家有关排放标准要求后，方可排放。

附　录　A
（资料性附录）
中、高温盐浴脱碳性能的试验方法

A.1　试样（箔片）

A.1.1　箔片材料规定用厚度为（0.08±0.01）mm、宽度为30mm的冷轧T10的钢带。材料的化学成分应符合GB/T 1298的规定。

A.1.2　由钢带上剪下的箔片，每片长度为120mm。

A.1.3　箔片应平整、光滑、无飞边、毛刺、锈迹和油污。

A.1.4　取两片箔片，在其长度方向的一端打一小孔，用无水乙醇清洗、晾干。用铁丝穿过小孔，绑在一个丁字钩上备用。为使箔片不致在盐浴中漂浮，可在铁丝上加挂一重物。

A.2　试验设备和加热规范

A.2.1　试验设备为待检验的高温或中温盐浴。盐浴应处于空载状态。

A.2.2　箔片加热规范见表A.1。

表A.1　箔片加热规范

盐浴种类	温度/℃	时间/min
高温盐浴	1230±10	3
中温盐浴	850±10	20

A.3　试验步骤

盐浴预先用热电偶校温，然后将准备好的箔片整个浸入盐浴有效加热区加热，浸入深度以箔片上端在熔盐下面约80mm为准。箔片按表A.1规定的加热规范完成加热后，取出迅速水冷，小心地解下箔片，先用蒸馏水洗净表面残盐，再用无水乙醇浸渍，晾干后保存在干燥器中备用。

A.4　试样分析

A.4.1　将同一次加热的两片箔片剪碎、混匀，然后按GB/T 223.1（气体容量法）分析其含碳量。此含碳量为箔片的剩余含碳量。

A.4.2　取同一钢带上未经加热的两片箔片，分析其含碳量。此含碳量为箔片的原始含碳量。

A.5　结果计算

箔片脱碳率ΔC_p（%）按式（A.1）计算：

$$\Delta C_p = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\% \quad \text{(A.1)}$$

式中　C_0——箔片的原始碳含量（质量分数,%）；

C——箔片的剩余碳含量（质量分数,%）。

第十节　钢件在吸热式气氛中的热处理

一、概论

1. 国内外情况和编制本标准的指导思想

可控气氛热处理近年来发展迅速，已成为近代热处理应用最为广泛的工艺。国内外采用的可控气氛有吸热式气氛、放热式气氛、滴注式气氛、氨制备气氛以及氮基气氛等，种类较多。其中吸热

式气氛应用最早，具有产气成分稳定，使用调节方便的优点。传统的吸热式气氛在各国热处理厂家中仍处于主导地位。从发展上看，多种气氛并存，以适应不同的需求，也将是较长期的发展趋势。

我国吸热式气氛热处理在工艺和装备水平上，与发达国家相比，存在着较大的差距，对原料气的要求、炉温控制、碳势控制、质量检验和安全等方面尚缺乏必要的规定。

为了推动我国热处理技术进步，提高热处理质量并指导生产，制定有关可控气氛热处理标准是极为迫切的任务。所以在1999年我国制定并颁布了JB/T 9207—1999《钢件在吸热式气氛中的热处理》。

在编制过程中，我们参考了美国军标。名称是《可控气氛气体渗碳》，代号为MIL-STD-1878（AT），适应范围是美军用坦克发动机零件可控气氛渗碳和热处理。其主要内容包括渗碳设备、气体渗碳介质、淬火加热设备、冷却设备、控制仪器、表面准备、炉子装料、碳势控制、质量控制和检验记录保存等。

该标准中规定有具体数据的条文主要有：

（1）炉温均匀性：炉子装料后，在工作区的温度变化不能大于要求值的±15℃。

（2）碳势控制：除非另有规定，表面w(C)应规定为(0.9±0.1)%。

（3）渗碳温度：渗碳应在843～927℃进行，一般为927℃。

质量保证措施试验方法、检验仪器的标定、监测和校验、记录保存以及关于拒收，重新试验和返工等。

该标准内容全面，涉及面广，规定详尽，其要求都明显低于美国现行企业标准，较适合于我国现阶段的需要，有较大的参考价值。

原国家标准总局在有关文件中指出，编制各项标准的技术内容应当符合我国实际科学技术发展方向；技术规定应当先进、安全、可靠和经济合理；各项规定应当完整，要求与我国有关的标准协调一致，并尽量采用国际标准。这是我们编制本标准的指导原则。

该标准经过近十年的实施，我国热处理的技术装备不断发展，该技术已广泛应用于生产实践，故于2008年对该标准进行了修订，颁布了JB/T 9207—2008。

JB/T 9207—2008与JB/T 9207—1999相比，主要变化如下：

（1）在“1 范围”一章中增加对“环保”的要求。

（2）将原标准的“2 引用标准”改为“2 规范性引用文件”，增加了GB 15735、JB 8434两个引用文件，同时又核准了原有的引用文件。

（3）将原标准“3 定义”改为“3 术语和定义”，又增加了英文词条。

（4）5.2.2中的“……最大偏差值应为±10°C”，改为“……最大偏差值不超过±10°C”。

（5）8.3中的“……控温精度为±0.1%°C。”，改为“……控温精度最大偏差值不超过±0.1%°C。”。

（6）8.5、9d）中的“变形”改为“畸变”。

（7）将“10 安全”改为“10 安全、环保”。

（8）增加“气氛发生器和热处理炉的安全设施必须符合GB 15735的规定，废气的排放应符合GB 15735、JB 8434的有关规定”（见“10 安全、环保”的下一行）。

（9）在10.1.1中增加：d）气氛发生器要配备大于800°C方能通气的安全控制装置，e）气氛发生器的电路都必须安装火焰逆止器。

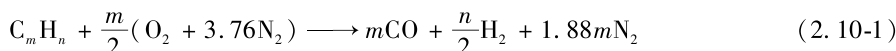
（10）删除10.2.2。

（11）增加“10.3 环保”，内容为“排出废气必须点燃，车间应通风良好”。

2. 吸热式气氛热处理简介

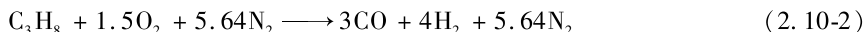
（1）制备。吸热式气氛是以一定比例的原料气和空气混合，通过内部装有催化剂、外部加热的

反应罐，经吸热反应制备所得的气氛。其主要成分为 CO、H_2、N_2 及微量的 H_2O、CO_2、CH_4、O_2 等。原料气一般用天然气、丙烷、丁烷等碳氢化合物，空气的量按照正好使原料气中的 C、H_2 都形成 CO 和 H_2，没有过剩为止。化学反应通式为



$$C_mH_n + \frac{m}{2}(O_2 + 3.76N_2) \longrightarrow mCO + \frac{n}{2}H_2 + 1.88mN_2 \quad (2.10\text{-}1)$$

以丙烷为原料气时反应



$$C_3H_8 + 1.5O_2 + 5.64N_2 \longrightarrow 3CO + 4H_2 + 5.64N_2 \quad (2.10\text{-}2)$$

其产气成分为：

CO　23.7%、H_2　31.6%、N_2　44.7%、CO_2　0.1%～1.0%、CH_4　<1%

式（2.10-1）实际上分两阶段进行。第一阶段是放热反应，部分原料气燃烧，放出热量。第二阶段是吸热反应、剩余的原料气同第一阶段生成的 CO_2、H_2O 反应，生成 CO 和 H_2。此段在一定温度和活性催化作用下，要大量吸热，反应才完全。综合两段，净放热量不足以维持反应罐催化剂的温度（980～1050℃），仍需外部供热，所以仍属吸热反应。产生过程的反应是较复杂的，包括碳氢化合物的裂解，裂解生成的 C 和 H_2，也同 CO_2、H_2O 反应生成 CO、H_2，还有水煤气反应等。反应是否完全，一般以 CH_4 的含量来衡量，当 CH_4 含量小于0.8%（体积分数）时，即可认为反应基本完全。反应不完全时，容易形成炭黑。

炭黑会阻塞催化剂床层，降低催化剂活性，使气氛成分波动，CH_4、CO_2、H_2O 含量增加，从而导致碳势失控。

在实际运用中，只是在热处理炉排气和渗碳初期的用气量最大，当用气量低于20%时，过剩的气体只能放散，白白地浪费掉。这是由于发生器的产气量只能在一定范围内，一般要在不低于额定产气量30%时才能正常产气。

（2）催化剂的还原和再生。催化剂本身不参加化学反应，其作用是提高反应速度，使反应完全，并能降低反应温度。吸热式气氛发生器一般采用镍基催化剂。新催化剂使用前需先烘干再进行还原处理，使其 NiO 还原成活性镍。可以靠本身产气进行活化。一般在800～850℃，通入小流量、低混合比的混合气，经16h以上才能完成还原过程。其反应如下：



$$NiO + H_2 \longrightarrow Ni + H_2O \quad (2.10\text{-}3)$$



$$NiO + CO \longrightarrow Ni + CO_2 \quad (2.10\text{-}4)$$

发生器在正常运转中，催化剂逐渐被炭黑沉积而失去活性，必须定期烧掉炭黑，即为催化剂的“再生”。一般将发生器温度定在850℃左右，保温1h，通以适量的空气（约1/3额定产气量），时间根据取气分析而定，到 CO_2 的体积分数小于0.5%时，将空气增加10%～20%，确认 CO_2 量不再变化即算完成，据经验为1～2h。

（3）渗碳过程的炉气反应。用吸热式气氛作载气的渗碳过程中，必须加入富化气（CH_4、C_3H_8 等），以提高渗碳能力，添加 C_3H_8 的体积分数一般为0.5%～4%。

渗碳时炉内气氛各组分间的反应（气相反应）为



$$CO + H_2 \rightleftharpoons [C] + H_2O \quad (2.10\text{-}5)$$



$$2CO \rightleftharpoons [C] + CO_2 \quad (2.10\text{-}6)$$



$$CO \rightleftharpoons [C] + 1/2O_2 \quad (2.10\text{-}7)$$



$$C_3H_8 \rightleftharpoons 2[C] + CH_4 + 2H_2 \quad (2.10\text{-}8)$$



$$CH_4 \rightleftharpoons [C] + 2H_2 \quad (2.10\text{-}9)$$



$$CH_4 + CO_2 \rightleftharpoons 2CO + 2H_2 \quad (2.10\text{-}10)$$



$$CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO + 3H_2 \quad (2.10\text{-}11)$$



$$CO_2 + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2O \qquad (2.10\text{-}12)$$

式（2.10-5）~式（2.10-9）是渗碳反应，式（2.10-5）是主要渗碳反应，反应速度最快；式（2.10-10）、式（2.10-11）是还原反应，对式（2.10-9）有相互制约的作用，只有提高CO和H_2的含量，才能保持平衡碳的充足供应。式（2.10-12）是水煤气反应，表征炉气氛中CO、H_2、H_2O之间的反应特性，也抑制着炉气组分间的各种反应。这一反应达到平衡，炉气氛的组分也就大致稳定。

早期的露点控制，后来的CO_2红外仪控制，和现在的氧探头控制，就是依据式（2.10-5）~式（2.10-7）达到炉气氛碳势控制的目的的。

二、标准应用说明

本标准所涉及的内容是以钢件在吸热气氛中热处理为主，对原料气、发生器、气氛控制、安全也进行了必要的规定，和常规热处理相同的部分则从略。

1. 术语

除“炉膛时效”外，其他术语引自GB/T 8121《热处理工艺材料术语》。

2. 原料气的种类

由于城市煤气的成分波动较大，不推荐使用。

3. 原料气的要求

由于当时国内天然气应用很少，对新开采的天然气情况不明，制定标准的条件不够充分，故对天然气的要求不太具体。

我国还没有专用于热处理的液化石油气的质量标准，由于原料气纯度不高，成分波动较大，造成气氛成分不稳定，炭黑多，以及炉气控制的困难。

4. 国外对工业用液化气有严格标准

（1）日本。液化气标准JIS K 2240将液化气分为六类，其中第一类是纯度高于98%的丙烷，第六类是纯度高于98%的丁烷，这两类规定用于“工业燃料或制备可控气氛”。

一些公司对原料气有具体的要求，如东京热处理工业公司日吉工厂对丁烷要求：

蒸汽压（37.08℃）	≤500kPa
硫含量	≤0.005%
纯度	≤98.5%
烯烃	0

（2）英国。液化石油气工业协会标准（BS 4250）对丙烷的要求：

乙烯	≤1%（摩尔分数）
C_5以上	≤2%（摩尔分数）
挥发性硫	≤0.02%（质量分数）
游离水分	不可见

（3）德国。德国标准（DIN 51622）对丙烷的要求：

丙烷	≥95%
挥发性硫	≤0.005%（质量分数）
游离水分	不可见

（4）美国

1）美国天然气加工者协会（NGPA）对丙烷的要求：

丙烯	≤5%（摩尔分数）

丙烷　　　　　　　≥90%（摩尔分数）
挥发性硫　　　　　≤0.012%（质量分数）
游离水分　　　　　不可见

2）Sunbeam 公司对丙烷的要求：
丙烷　　　　　　　≥95%
烯烃　　　　　　　0

3）Lindberg 公司对丙烷的要求：
丙烷　　　　　　　≥90%
烯烃　　　　　　　≤5%
硫　　　　　　　　≤0.01%（质量分数）

5. 我国情况

我国因原油产地、炼制工艺和操作条件不同，各厂液化气的化学成分也各异。表 2.10-1 列出我国主要炼油厂液化气的成分。

表 2.10-1　我国主要炼油厂液化气成分

厂　名	液　化　气　成　分(体积分数,%)						
	CH_4	$C_2H_4 \cdot C_2H_6$	C_3H_8	C_3H_6	C_4H_{10}	C_4H_8	其　他
大庆炼油厂	1.4	1.0	11.5	24.3	25.5	32.9	余量
锦西石油五厂		0.5	8.6	22.5	26.3	38.6	
锦州石油六厂		1.3	8.5	24.5	23.9	33.4	
北京东方红炼油厂		2.41	10.6	31.2	19.04	25.95	
上海炼油厂	3.46	7.04	12.6	34.04	22.0	20.5	
洛阳炼油厂		3.19	13.55	40.97	16.36	22.94	
胜利炼油厂		0.23	16.81	24.1	18.68	33.67	
南京炼油厂	0.03	1.15	12.42	24.33	25.06	35.58	
湖南长岭炼油厂			10.2	21.7	27.6	40.5	

从表 2.10-1 可以看出，液化气所含丙烷、丁烷基本都在 40% 以下，烯烃含量高达 60% 左右。烯烃在热裂解过程中容易形成炭黑，造成催化剂失效，使气氛成分不稳定。因此，这种液化气不宜用作原料气。

上述液化气在炼油厂或石油化工厂经过分馏即可获得高纯度的液化丙烷（丁烷），是热处理气氛的优质原料。

近几年来，高纯液化石油气的供应有较大发展，如燕山石油化工公司前进化工厂所生产的丙烷，可用于制备热处理吸热气氛。其质量标准见表 2.10-2。天津石油化工公司第二石油化工厂生产的工业丙烷，可用于制备吸热式气。其质量标准见表 2.10-3。

表 2.10-2　燕山石油化工公司前进化工厂生产的丙烷质量标准

项　目	质　量　标　准	
	优级品	一级品
丙　烷	95%	90%
硫化氢	≤0.001%	≤0.001%

表 2.10-3　天津石油化工公司第二石油化工厂生产的丙烷质量标准

项　目	质量标准
丙烷纯度	≥95%
C_2H_6，C_2H_4	≤0.5%
丙烯（C_3H_6）	≤2.0%
C_4H_{10}、C_4H_8 以上	≤3.0%
总硫含量	≤30mg/m^3

其他如上海金山石油化工一厂、湖南岳阳化工总厂等供应的纯丙烷或丁烷的纯度均在90%以上。

硫含量过去没有统一标准，参照我国石油产品企业标准，用H_2S的质量分数来表示，高纯液化气可达0.002%以下。

因此，只要采用石油化工厂的纯丙烷、丁烷，即可满足本标准的要求。

6. 发生器控制

发生器产气露点设定值范围较大，是考虑到各行业、多种材料和工艺的要求，一般不希望露点值过低，以减少炭黑的产生。所要求的CO_2值是与露点值相对应的。

7. 密封性

密封炉膛系指井式炉、密封箱式炉、推杆式气体渗碳炉等的炉膛，敞口的网带式炉、震底式炉除外。

8. 保温精度

温度是可控气氛热处理的重要参数，特别是可控气氛渗碳，为了获得均匀一致的渗层和碳浓度，对保温精度应有较高的要求。

炉温是在空载或装载条件下按炉子有效加热区的规定标定的。

（1）我国标准。按GB/T 16924《钢的淬火回火处理》要求，炉子有效加热区的允许温度差见表2.10-4、表2.10-5。

表2.10-4　淬火加热炉有效加热区的温度偏差值

工件类别	允许温度偏差/℃
1、2、3、4	±10°C
3、4	±15°C

表2.10-5　回火加热炉有效加热区的温度偏差值

工件类别	允许温度偏差/℃
1、2	±10°C
3、4	±15°C

按JB/T 3999《钢的渗碳与碳氮共渗淬火回火》要求，炉子有效加热区内允许温度偏差为：一般电加热炉，±10℃；其他加热炉，±15℃。

（2）美国军用标准。MIL-STD-1878（AT）《可控气氛气体渗碳》中规定：炉子装料后，在工作区内的允许温差为±15℃。

我国标准未注明是空载或装载，国外标准则明确是装料后的要求。保温精度除了和炉型有关外，与装料密度、气氛循环状况也有关。参照国内外情况，本标准定为±10℃。

9. 工件表面准备

前工序残留的氧化皮、油、润滑脂、防渗剂及水分，对工件、炉子和炉气的平衡均会产生有害的影响和反应。为了更好地发挥可控气氛热处理的优越性，应要求在处理前做好清洗、防锈工作。

10. 表面硬度和硬化层深度

（1）本标准对渗碳和碳氮共渗表面硬度的要求，采用JB/T 3999《钢的渗碳与碳氮共渗淬火回火处理》8.2条的规定，要求表面硬度的偏差范围不得超过表2.10-6所列数据。

表2.10-6　渗碳和碳氮共渗表面硬度偏差范围

工件种类	表面硬度偏差HRC	
	单　件	同　批
重要件	3	5
一般件	4	7

有效硬化层深度偏差不得超过表 2. 10-7 规定。

表 2. 10-7 有效硬化层深度偏差范围 （单位：mm）

硬化层深度	有效硬化层深度偏差		硬化层深度	有效硬化层深度偏差	
	单　件	同　批		单　件	同　批
<0.50	0.10	0.20	1.50～2.50	0.30	0.40
0.50～1.50	0.20	0.30	>2.50	0.50	0.60

对氮碳共渗表面硬度的要求，按 JB/T 4155 的规定。表面硬度检验方法，用显微硬度计检验。试样的炉前检验允许使用其他适当的硬度测定法。

（2）对氮碳共渗层深度的测定方法，按 GB/T 11354 规定如下：

1）用维氏硬度法，载荷为 2. 94N；从试样表面测至比基体维氏硬度值高 50HV 处的垂直距离为氮碳共渗深度（包括化合物层与扩散层）。

2）对于氮碳共渗层硬度变化平缓的钢种（如碳钢、低碳、低合金钢），则由试样表面测至比基体维氏硬度值高 30HV 处的垂直距离。

3）测量步骤按 GB/T 9450《钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核》、GB/T 9451《钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定进行》。

11. 表面含碳量

可控气氛渗碳时，表面含碳量是通过炉内气氛的碳势控制来获得的。碳势是表征含碳气氛在一定温度下改变工件表面含碳能力的参数，通常用低碳碳素钢箔片在含碳气氛中的平衡碳含量定量监测。随着现代控制手段的发展，碳势控制精度不断提高，最高已可达 ±0. 025%，一般均不低于 ±0. 05% 的水平。

对于表面含碳量，也有降低的趋势。美国金属学会认为，低合金钢渗碳的最高淬透性是在含碳量接近共析成分得到的。在现代的渗碳实践中，十分希望获得共析或稍高于共析成分的表面含碳量。

国外表面含碳量 w(C) 如下：

日本东京热处理公司	0. 8%
美国 John Deere 公司	0. 85%
德国 BOSCH 公司	0. 8% ～1. 0%
瑞典 Briikens 公司	0. 9% ～1. 0%
苏联《机器制造热处理手册》(1980 年版)	0. 85% ～1. 1%

我国除个别厂应用碳势自动控制，绝大部分厂，包括大厂均为手动控制，表面含碳量 w(C) 大致在 0. 8% ～1. 3%，因工件种类和钢号不同而异。

本标准将表面碳含量 w(C) 控制精度定为 ±0. 1%。为了适应多种工件和工序的不同要求，表面碳含量 w(C) 范围设定为 0. 8% ～1. 0%，如表面碳含量 w(C) 设定为 0. 9% 时，应为（0. 9 ± 0. 1)%，或 0. 8% ～1. 0%。

12. 金相组织

应用吸热式气氛可改善金属的金相组织。我国尚无专用于可控气氛热处理的金相组织标准，参照一般热处理的金相标准是不适合的。故本标准提出应满足技术要求或符合相应技术标准的规定。

13. 安全设施

（1）液化气是易燃易爆物质，气态密度是空气的 1. 5 倍多，其爆炸下限较低（2% 左右），一旦

泄漏就会在低洼处聚积，遇明火就会引起爆炸，因此，在储存时必须有一定的安全规定和防护措施。

液化气储罐安全防火间距我国已有新规定，1986 年公安部主编的《建筑设计防火规范》（GB J16—1987）已正式颁布实行，用以代替 1974 年颁布的《建筑设计防火规范》（TJ 16—1974）。新规范第六节“液化石油气储罐的布置和防火间距”中，规定防火间距不应小于表 2. 10-8 的数据。

表 2. 10-8　液化石油气储罐的防火间距　（单位：m）

类别		防火间距					
总容积/m^3		≤10	10 ~ 30	31 ~ 200	201 ~ 1000	1001 ~ 2500	2501 ~ 5000
单罐容积/m^3		—	≤10	≤50	≤100	≤400	≤1000
明火或散发火花地点		35	40	50	60	70	80
民用建筑： 甲乙类液体储罐 甲类物品库房 易燃材料堆场		30	35	45	55	65	75
丙类液体储罐，可燃气体储罐		25	30	35	45	55	65
助燃气体储罐，可燃材料堆场		20	25	30	40	50	60
其他建筑耐火等级	一、二级	12	18	20	25	30	40
	三级	15	20	25	30	40	50
	四级	20	25	30	40	50	60

新规定的防火间距是偏大的，以 10m^3 储罐为例，表中要求与“明火和散火发火花地点”的间距为 35m。

国外一般对 10m^3 罐比上述标准的安全间距要小，如日本液化气设备协会规定为 15m，美国国家防火协会规定为 15. 2m，德国液化气技术规范规定为 10m，比较容易做到。

新标准规定的间距在实施上是困难的，但又是必须遵循的规范，对吸热式气氛的发展将会起到限制作用。

（2）在本标准 10. 2. 2 条中“工艺要求在低于 760℃通气”是指氮碳共渗、高温回火等工艺。此时应采取的有效的安全措施如下：

1）先通气，后升温，升温过程中继续通气，使炉内一开始就不存在空气。

2）升温时通惰性气体（或 99. 5% 氮）置换炉内空气，到温后换吸热式气氛。（北京机电研究所徐跃明供稿）

三、标准内容（JB/T 9207—2008）

钢件在吸热式气氛中的热处理

1　范围

本标准规定了钢件在吸热式气氛中的原料气、发生器、热处理炉、热处理质量控制、检验、安全及环保的基本要求。

本标准适用于渗碳、碳氮共渗、光亮或洁净淬火、正火、氮碳共渗及复碳等工艺。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所

有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 11354　钢铁零件　渗氮层深度测定和金相组织检验

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

JB/T 2841　控制气体发生装置基本技术条件

JB/T 3999　钢的渗碳与碳氮共渗淬火回火

JB/T 4155　气体氮碳共渗

JB 8434　热处理环境保护技术要求

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1　炉膛时效　In-chamber ageing

初次用炉或停炉后再使用时，空炉升到一定温度（通常不低于760℃），通入载气，使炉内气体碳势达到基本稳定的过程。

4　原料气的种类和要求

4.1　种类

吸热是气氛常用的原料气为天然气和液化石油气。

4.2　要求

原料气的成分应符合表1的要求。

表1　原料气的成分

成　分	天　然　气	液化石油气	成　分	天　然　气	液化石油气
甲烷	≥90%（体积分数）	—	戊烷以上的烷族	—	≤2%（体积分数）
丙烷（或丁烷）	—	≥90%（体积分数）	硫化氢	$\leqslant 50\times10^{-6}$（质量分数）	$\leqslant 50\times10^{-6}$（质量分数）
烯烃	—	≤5%（体积分数）	游离水分	无	无

5　热处理设备

5.1　吸热式气氛发生器

5.1.1　吸热式气氛发生器应符合JB/T 2841的规定。

5.1.2　发生器气体成分和压力应稳定，并满足工艺要求。

5.1.3　发生器气体成分应采用露点仪或CO_2红外仪等仪器控制。

5.1.4　发生器可根据条件采用电、气体或液体燃料加热。

5.2　热处理炉

无论是周期式炉或连续炉，均应满足以下各项要求。

5.2.1　密封性

热处理炉应有良好的密封性，炉体上的所有孔洞必须采取有效的密封措施。在正常的换气量时，炉膛内的压力应保持正压。

5.2.2　保温精度

热处理炉有效加热区保温精度的最大偏差值不超过±10℃，控温指示精度应在±4℃以内，按

GB/T 9452 的规定进行测定。

5.2.3　炉气循环

炉内气氛应有可靠的循环，可利用料筐或导风套形成循环回路，风扇应有足够的风速和风量，使炉内气氛分布均匀。

5.2.4　温度控制

在有效加热区内适当的部位应装有足够数量的控温和超温保护热电偶，以保证炉温的精确测量和监控。

5.2.5　碳势控制

炉内气氛碳势的测量可采用露点仪、CO_2 红外仪、氧探头或其他仪器。对炉内气氛碳势的控制或监控应采用自动控制装置。在能达到所要求的碳势控制精度的情况下，亦可使用手动控制仪器。

5.3　冷却设备

5.3.1　周期式或连续式密封炉的淬火槽应采用与炉子相连的密封结构，在淬火冷却介质液面上方应允有吸热式气氛或氮气。

5.3.2　冷却介质产生的烟雾、蒸汽不得进入炉膛。

5.3.3　淬火槽应有搅拌循环装置，保证工件均匀的冷却。

5.3.4　冷却介质的温度应能控制在要求的范围内，必要时应配置加热和冷却装置。

5.4　设备检查

对设备和仪表应定期检查和校正，并做出记录。

6　炉内气氛

6.1　载气

用吸热式气氛作载气。

6.2　富化气

可用天然气、丙烷或丁烷作富化气。成分必须稳定，其要求和 4.2 原料气相同。

6.3　添加气

在碳氮共渗和氮碳共渗时还需添加氨气。

6.4　混合和流量

载气和富化气宜在炉外混合后通入炉内。流量按炉型、炉膛容积、炉压、碳势和工件表面积而确定。载气、富化气和添加气的管路上均应设有流量计和调节阀。

7　热处理工艺

7.1　表面准备

7.1.1　在装炉前，所有工件、料盘和夹具应清洗干净，并除去水分。

7.1.2　工件工作表面不应有氧化和脱碳层（复碳工艺除外）。

7.2　工件装炉

7.2.1　工件必须放在有效加热区内，并应合理地放置和支撑，保证气氛均匀畅通。

7.2.2　应控制工艺过程，每批工件按需要装入同样材料和预备热处理的试样。

7.3　操作

7.3.1　新催化剂使用时，应先经充分烘干再进行还原处理。使用过程中应定期补充催化剂。

7.3.2　新炉和停炉后重新开炉，应进行炉膛时效。

7.3.3　发生器和热处理炉膛连续使用时，应定期烧炭黑。

7.3.4　操作前应检查热电偶、炉用仪表和气氛控制仪器等是否正常运行。

7.3.5　渗碳后不直接淬火的工件，应在吸热式气氛或氮气保护下冷却到工艺规定温度以下，然后

再转至空气中冷却。

8 质量控制与检验

8.1 外观

工件表面不允许有裂纹、碰伤、锈蚀及氧化皮。

8.2 表面硬度和硬化层深度

渗碳和碳氮共渗应符合 JB/T 3999 的规定。

氮碳共渗应符合 JB/T 4155 及 GB/T 11354 的规定。

8.3 表面含碳量

渗碳淬火工件表面含碳量应根据产品要求控制。设定值一般为 0.8% ~1.0%（质量分数），控制精度最大偏差不超过 ±0.1%。

8.4 金相组织

应符合工件的技术要求，或符合相应标准的规定。

8.5 畸变

工件的畸变应符合技术要求。

9 记录

操作者及检验者应做出以下记录备查：

a）工件号、名称、材料、数量或重量；

b）使用的设备；

c）工艺参数：

——温度；

——时间；

——气氛成分及用量；

——炉内气氛碳势；

——淬火冷却介质和温度；

——回火温度和时间；

d）检验：

——硬化层深度；

——表面含碳量；

——硬度（表面/心部）；

——金相组织（表面/心部）；

——畸变；

e）检验结论；

f）处理日期；

g）操作者和检验者签名。

10 安全、环保

气氛发生器和热处理炉的安全设施必须符合 GB 15735 的规定，废气的排放应符合 GB 15735、JB 8434 的有关规定。

10.1 安全措施

10.1.1 液化石油气储罐的布置条件：

a）在安全隔离区内不准有火源、可燃材料及与储罐无关的建筑设施，特别不准有地下孔、通风井等；

b）应防止日光直接照射储罐，并应设有喷淋降温设施；

c）成组放置储罐时，储罐间距至少应是最大储罐直径的二分之一，但不得小于1m；

d）气氛发生器要配备大于800°C方能通气的安全控制装置；

e）气氛发生器的电路都必须安装火焰逆止器。

10.1.2　发生器和热处理炉都必须设有防爆装置，如防爆膜或防爆盖。

10.2　安全操作

10.2.1　发生器和热处理炉的所有管道、阀门和接头都不允许漏气，并应经常检查。

10.2.2　在炉内温度低于760℃时，禁止通入吸热式气氛。工艺要求在低于760℃通气时，必须事先用工业氮排尽炉内空气。

10.2.3　在发生故障或突然停电时，应采取以下紧急措施：应接通设备电源；或用惰性气体（或99.5%氮气）置换炉膛内气体。

10.3　环保

排出的废气必须点燃，车间应通风良好。

第十一节　低温化学热处理工艺方法选择通则

一、概论

1. 制定本标准的必要性

低温化学热处理工艺种类繁多，不同工艺获得的渗层各具有自己的特性及综合技术经济效果，但缺乏系统的性能对比数据。虽然制定了气体渗氮、离子渗氮等单项工艺行业标准，但设计者和热处理工艺人员在采用新工艺时往往难以抉择，有的选择应用不恰当，不仅技术经济效果不明显，甚至降低使用寿命。因此，制定本标准，以期为机械设计与工艺人员正确选择工艺方法提供依据。

本标准提出了根据工件的服役条件和失效形式、材料及技术经济综合效果等原则来选择工艺方法，并有典型零件适用工艺举例，既有科学性又有实用价值，对推广应用低温化学热处理技术具有重要工程价值与较大的社会效益。

2. 与本标准有关的国内外标准概况

国际标准化组织（ISO）制定的热处理通用技术标准，主要是热处理质量检测方法，而很少编制工艺标准。国外仅有液体渗氮、钢铁零件的气体渗氮等标准。我国前后制定了《钢的气体渗氮处理》、《离子渗氮》、《气体氮碳共渗工艺》、《盐浴硫氮碳共渗》、《齿轮渗氮、氮碳共渗工艺及质量控制》、《化学热处理渗剂技术条件》等标准，其主要内容是单项工艺的材料选择、处理设备、工艺控制、工艺材料及质量检测等，没有多种工艺方法的对比。

3. 标准的修订

2007年对JB/T 7500—1994进行了修订，颁布了JB/T 7500—2007。本标准的附录A、B、C均为资料性附录。

二、标准应用说明

1. 本标准规定工艺方法的选择及技术指标确定的来源与根据

制定本标准主要参考机械工业技术发展基金项目《低温化学热处理渗层抗咬合抗疲劳特性的研究》的数据，包括气体渗氮、离子渗氮、盐浴硫氮碳共渗、气体氮碳共渗及低温电解渗硫等五种工艺对45钢、QT600-3、25Cr2MoV、38CrMoAl、Cr12MoV、4Cr5MoVSi和W6Mo5Cr4V2等材料进

行处理，从工艺与渗层组织、硬度与硬度分布、渗层抗咬合、抗弯曲疲劳、抗接触疲劳、冷热疲劳与冲击疲劳性能及相应的台架试验与生产应用考核结果。同时期国内外报道资料中的数据、图表为制定本标准提供了佐证和依据。

（1）渗层的抗咬合性能。几种材料分别经五种工艺处理，进行 Falex 试验测定咬合性能，数据综合对比列于图 2. 11-1。抗咬合性能顺序为：盐浴硫氮碳共渗、气体渗氮、气体氮碳共渗、离子渗氮、离子渗氮再渗硫。前三种工艺渗层抗咬合性能优等，离子渗氮良好。

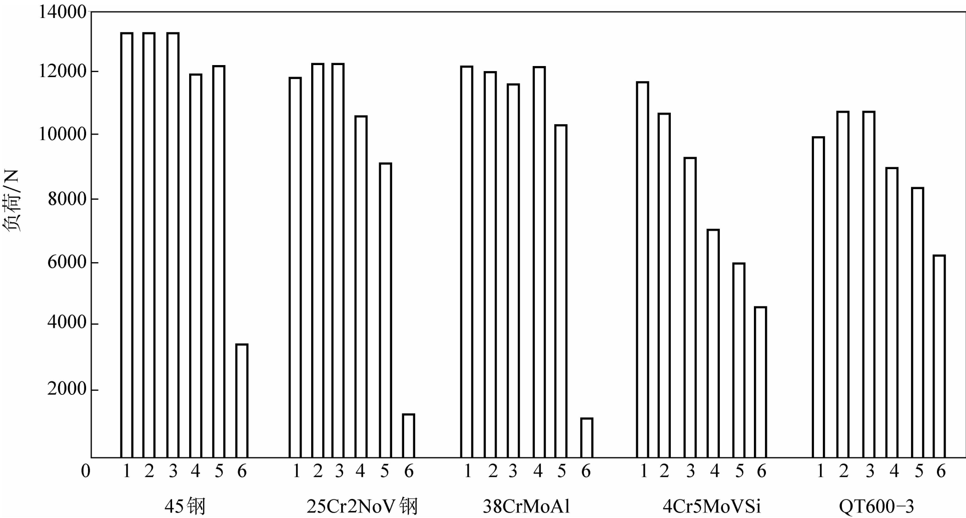


图 2. 11-1　五种材料经不同工艺处理后抗咬合性能对比

1—盐浴硫氮碳共渗　2—气体渗氮　3—气体氮碳共渗　4—离子渗氮

5—离子渗氮 + 电解渗硫　6—未经表面处理

40CrMnMo 钢经三种工艺处理后进行干摩擦状态下的咬合试验，离子渗氮、盐浴氮碳共渗与盐浴硫氮碳共渗后的抗咬合载荷分别为 7300N、9000N 与 13000N，可见盐浴硫氮碳共渗抗咬合性能最好。

（2）渗层的抗弯曲疲劳性能。承受交变弯曲应力的轴类零件的使用寿命，主要取决于其弯曲疲劳性能。用 ϕ7. 52mm 旋转弯曲疲劳试样，在 CPF 旋转弯曲疲劳试验机上进行。五种材料经四种工艺处理后弯曲疲劳性能综合于图 2. 11-2。

QT600-3 材料的 S195 曲轴，经气体氮碳共渗与盐浴硫氮碳共渗，通过升降法台架试验，气体氮碳共渗的疲劳极限比正火工艺提高 30% 以上，盐浴硫氮碳共渗次之。

（3）渗层的抗接触疲劳性能。几种材料分别经四种工艺处理的滚子接触疲劳试样（凸度形），进行快速接触疲劳试验，部分结果见表 2. 11-1。

接触疲劳强度的高低，除与基体材料强度直接有关外，还取决于渗层深度与硬度，采用基体强度较高的 25Cr2MoV 钢，经离子渗氮或气体渗氮（渗层深度都 > 0. 5mm），其接触疲劳性能优良；属于浅层（渗层深度≤0. 3mm）的盐浴硫氮碳共渗、气体氮碳共渗接触疲劳极限比调质件高，但低于深层渗氮件。

（4）渗层的冲击疲劳性能。W6Mo5Cr4V2 模具钢经三种工艺处理后进行冲击疲劳性能试验。试件气体氮碳共渗后，在低于 2. 7J 的冲击能量下，其冲击疲劳寿命提高；盐浴硫氮碳共渗后冲击能量低于 1. 7J 才能使冲击疲劳寿命有所提高；离子渗氮层的临界冲击能量更低。

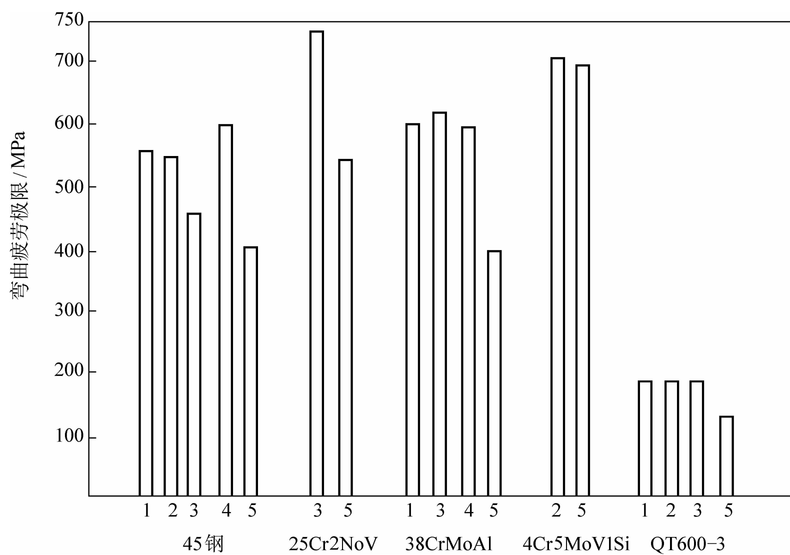


图 2.11-2　五种材料经不同工艺处理后弯曲疲劳性能的对比

1—盐浴硫氮碳共渗　2—气体氮碳共渗　3—离子渗氮　4—气体渗氮　5—未经表面处理

表 2.11-1　几种材料经不同工艺处理滚子接触疲劳快速试验数据

材　　料	工　　艺　　方　　法	渗层深度/mm	接触疲劳极限/MPa
25Cr2MoV	深层离子渗氮(1)	0.75	2871
	气体渗氮	0.50	2752
	深层离子渗氮(2)	0.75	2663
	常规离子渗氮(1)	0.50	2607
	常规离子渗氮(2)	0.50	2647
	盐浴硫氮碳共渗	0.20	2430
	气体氮碳共渗	0.20	2381
	调质态		1500
45 钢	离子渗氮	0.50	1686
	气体氮碳共渗	0.30	1725
	盐浴硫氮碳共渗	0.20	1666
4Cr5MoV1Si	离子渗氮	0.09	4145
	气体氮碳共渗	0.09	3900
	盐浴硫氮碳共渗	0.09	4028

（5）渗层的冷热疲劳性能。4Cr5MoV1Si 热模具钢经三种工艺处理后，在 Gleeble-1500 型热力模拟机上进行冷热疲劳性能试验，以冷热温差 330℃下试件表面产生 0.5mm 长的裂纹为判据，表面强化显著提高冷热疲劳抗力，化合物层致密的离子渗氮和气体氮碳共渗效果优良，盐浴硫氮碳共渗次之。

（6）渗层的抗磨损性能

1）耐磨粒磨损性能。在磨粒磨损的情况下，经热处理的钢材耐磨性与硬度之间存在直线关系，与渗层深度、组织也有关系。在冲击负荷较小时，一般可用硬度高低作为判断耐磨性的依据。当冲击负荷大到一定值后提高耐磨性除要求高硬度外，还必须考虑强度与韧性的影响。

通常硫氮碳共渗或气体氮碳共渗处理的碳素钢或合金结构钢，表面硬度达600～700HV，且渗层较浅（≤0.3mm），在0.1～0.2mm渗层处硬度下降较快，一般为400～500HV。而气体渗氮、离子渗氮处理的合金钢，表面硬度达950～1000HV，而且渗层较深，可达0.4～0.6mm（甚至达0.6～0.8mm），硬度梯度下降平缓，因此可以判定气体渗氮或离子渗氮层抗磨粒磨损性能比氮碳共渗或硫氮碳共渗好。

2）抗黏着磨损性能。防止或减轻黏着磨损的有效方法是摩擦副不接触或改变接触表面物理化学特性，提高抗拉毛、擦伤能力，使不易发生黏着。而渗氮、氮碳共渗、硫氮碳共渗、渗硫等方法都使金属表层形成一层化合物，增加了抗拉毛、擦伤性能，尤其硫氮碳共渗，提高抗拉毛擦伤性能比离子渗氮更显著，因此抗黏着磨损性能优良。

2. 低温化学热处理应用范围

五种工艺渗层的特性与应用覆盖面的关系如表2.11-2所示。

表2.11-2 五种工艺渗层的特性与应用覆盖面的关系

工艺名称	渗层深度/μm			化合物层（δ_c）的组织结构	主要性能	适合处理的主要金属材料	适合处理的部分典型工件	备注
	化合物层	扩散层	过渡层					
气体渗氮	5～30	300～700	500以上	ε+γ′，ε相为主，致密区>2/3δ_c	耐磨、抗咬合、抗疲劳	38CrMoAl 35CrMo等合金结构钢；钛合金	镗杆，大（重）型机床（器）主轴	以深层渗氮为主的抗磨损、抗疲劳渗氮法
	20～40	50～100	100以上	ε相为主	抗大气及雨水腐蚀	各种结构钢	标准件及金属结构件等	抗蚀渗氮法
离子渗氮	0～30	300～700	500以上	γ′相为主	耐磨、抗疲劳	25Cr2MoV 40CrNiMo 等各种合金结构钢	中载、重载高速精密齿轮、重载曲轴	主要优势在于使中等载荷或受冲击的重载荷齿轮等工件的表面强化
盐浴硫氮碳共渗及以其为基础的复合处理；气体氮碳共渗	10～25	30～200	>50	ε相+FeS为主，疏松区>1/2δ_c	抗咬合、减摩为主，兼有抗疲劳、耐磨性能	回火温度>520℃的任何钢铁牌号	缸套、蜗轮、蜗杆、螺杆、挤压模	盐浴法与气体法两类工艺所获渗层性能、用途与强化效果基本相同。抗咬合性能和对不锈钢件、高速钢刀具的强化与节能效果方面，硫氮碳共渗占优势；粉末冶金件则气体氮碳共渗占优势
	15～25	50～300	200以上	ε+γ′ 致密区>2/3δ_c	耐磨、抗疲劳为主，兼有抗咬合性能	回火温度>520℃的任何钢铁牌号	齿轮、曲轴、丝杠、非重载模具	
	0～2	20～50	>30	无化合物层或δ_c<2μm且不连续	耐磨，抗疲劳	W18Cr4V W6Mo5Cr4V2	高速钢刀具	
低温电解渗硫	5～15	—	—	$FeS+FeS_2$，以FeS为主	减摩、抗咬合	除w(Cr)>13%的钢种以外的各种钢铁件	已渗碳、淬火或已淬硬的齿轮、凸轮，缸套等	渗硫前需表面或整体硬化，渗硫后必须洗净包括渗入微孔的残盐，否则易锈并恶化抗咬合性能

（1）气体渗氮。气体渗氮主要用于要求具有高疲劳强度、高耐磨性能的中载、重载工件，如机床主轴、镗杆、坦克与飞机发动机曲轴及重要耐磨件、齿轮与齿圈等中高档精密件；也用于改善钢（除不锈钢外）的耐蚀性，提高标准件、手把等零件的耐大气及水的腐蚀性。

（2）离子渗氮。离子渗氮主要用于承受中等或较大载荷并要求具有较好的抗黏着磨损和抗疲劳性能的齿轮、轴、丝杆、蜗杆、挤压机螺杆、缸套、曲轴及阀片等工件。主要优势是要求渗氮层深度在0.3mm以上的机械零件，对中、高档的高速中、小模数齿轮及重载精密齿轮尤为适用。

（3）气体氮碳共渗。气体氮碳共渗主要用于因粘着磨损、非重载疲劳断裂而失效的工件，如精密齿圈、阀门、液压件、球铁曲轴及模具等。

（4）盐浴硫氮碳共渗。盐浴硫氮碳共渗主要用途与氮碳共渗相似，其抗咬合、减摩性更优越，用于处理汽车发动机曲轴、轻或中负荷齿轮、阀门、气门、缸套、能量调节杆、不锈钢构件与刃具、模具等。

（5）低温电解渗硫。低温电解渗硫适用于除高铬不锈钢以外的多种钢铁材料已淬硬或经过渗碳淬火等表面硬化处理工件的后续处理，使业已具有高硬度、耐磨及抗疲劳性能的齿轮、凸轮、滚轮、活塞杆、螺杆、液压件等获得优良的减摩、抗咬合性能。

3. 贯彻本标准应注意几个问题

（1）本标准为合理选择五种工艺方法的一般通则，通则有别于细则，前者着眼于涉及几种工艺的共性与特性的概括，以明确各工艺的主要特性与应用领域为重点，后者则分别针对一种工艺，规定工艺及质量检验等细节。在宣贯过程中，不仅重点介绍五种工艺的选择原则及其依据、典型工件应用实例，还应介绍相应工艺具体实施、质量要求与检验方法，甚至安全与环保措施，以资补充，两者结合起来，宣贯实际效果会更好。

（2）在宣贯本标准，结合典型工件介绍适用的工艺方法时，要注意推荐的工艺方法不是唯一的，因为五种渗层性能既有区别，也有一些性能是很相近的，因此在选择时还应从其技术经济综合效益考虑，因厂制宜，切忌片面性。

（3）制定本标准时，没有比较五种工艺的耐蚀性，但通常渗层耐蚀性都比未渗的好。其耐蚀性主要取决于渗层的组织及深度，尤其是化合物致密区深度。当化合物以ε相或以ε相为主，且致密区深度在10μm以上时，渗层在大气、水、碱或盐雾中的耐蚀性良好。因此，在选择要求耐蚀性好的工艺方法时，需获得渗层大于10μm深度的ε相。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 7500—2007）

低温化学热处理工艺方法选择通则

1　范围

本标准规定了低温化学热处理工艺方法选择的一般通则。

本标准适用于碳素钢、合金结构钢、工模具钢、不锈钢和铸铁等材料制成的工件的气体渗氮、离子渗氮、气体碳氮共渗、盐浴硫氮碳共渗及电解渗硫等低温化学热处理工艺方法的选择。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232　金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

GB/T 18177　钢件的气体渗氮（GB/T 18177—2000，neq JIS 6915：1993）

JB/T 4155　气体氮碳共渗

JB/T 6956　钢铁件的离子渗氮

JB/T 9198　盐浴硫氮碳共渗

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　低温化学热处理　low temperature thermochemical treatment

将钢铁工件置于低于 Ac_1 温度的活性介质中保温，渗入一种或几种元素以改变表层化学成分、组织和性能的热处理工艺。

3.2　咬合　seizing

摩擦副在摩擦力作用下，其两个磨伤表面出现黏合，摩擦副的相对运动受阻的现象。

3.3　咬死　grip

因咬合而导致摩擦表面“冷焊”，表面产生严重黏着或转移使相对运动停止的现象。

3.4　接触疲劳　contact fatigue

材料在循环接触应力作用下，产生局部永久性累积损伤，经一定循环次数后，接触表面发生麻点、浅层或深层剥落的过程。

3.5　弯曲疲劳　bending fatigue

工件在脉冲或交变弯曲应力作用下萌生裂纹，因裂纹扩展而导致断裂的过程。

3.6　黏着磨损　adhesive wea

在摩擦副相对运动中，接触表层发生塑性变形，表面的氧化膜被破坏，从拉毛、擦伤发展到材料由一表面转移至另一表面所导致的磨损。

4　选择工艺术方法的一般原则

4.1　根据工件的服役条件、失效形式与渗层的特性选择工艺

4.1.1　用碳素结构钢或低合金结构钢制造的低速或轻载荷下工作的，但有耐磨要求的工件，在成品状态选用气体氮碳共渗或盐浴硫氮碳共渗。低合金结构钢工件，亦可采用离子渗氮。

4.1.2　承受重载荷并要求耐磨性与抗疲劳性高的工件，应采用离子渗氮或气体渗氮。

4.1.3　承受中等弯曲、扭转和一定冲击载荷，且工作表面承受磨损的轴类工件，应采用气体氮碳共渗、盐浴硫氮碳共渗或离子渗氮（碳素结构钢除外）。

4.1.4　承受很高的弯曲、扭转和一定冲击载荷，工作表面易磨损的工件（如大马力柴油机曲轴）；承受很高的弯曲、扭转和一定冲击载荷，转速高，精度高的工件（如坐标镗床主轴等）应采用离子渗氮或气体渗氮。

4.1.5　用含铬、钼、钒的合金结构钢制造的承受高接触载荷和弯曲应力，且要求变形小的工件（如大模数重载齿轮齿轴）采用深层离子渗氮或气体渗氮。

4.1.6　要求减摩、自润滑性能高的工件，应采用盐浴硫氮碳共渗。

4.1.7　单纯要求耐蚀性好的工件，可用碳素钢制造并进行抗蚀渗氮，但化合物层应以 ε 相为主，且致密区厚度在 10μm 以上。

4.1.8　承受较轻与中等载荷，以黏着磨损为主要失效形式的工件，应采用盐浴硫氮碳共渗或气体氮碳共渗。

4.1.9　以黏着磨损为主要失效形式的模具（如高精度冷冲模、冷挤模、拉深模、塑料及非金属成型模等）和刀具（回火温度低的碳素工具钢、低合金工具钢冷作模具除外），应采用盐浴硫氮碳共渗或气体氮碳共渗；以热磨损与冷疲劳为主要失效形式的模具（如铜合金挤压模与压铸模等），应

采用离子渗氮或气体渗氮。

4.1.10　低温电解渗硫主要用于经过渗碳、淬火；渗氮；整体或表面淬火以及调质的工件，达到降低表面摩擦系数，提高抗擦伤、抗咬合能力的目的。

4.1.11　五种低温化学热处理渗层性能的对比见表1。

几种典型工件（如齿轮、轴类、冷热模具等）的适用工艺参见附录A、附录B、附录C。

表1　五种低温化学热处理渗层性能的对比

工艺名称	减摩、抗咬合及自润滑性能	弯曲疲劳强度	接触疲劳强度	冲击疲劳强度	冷热疲劳强度	抗黏着磨损性能
气体渗氮	优良	优良	优良	—	良	良
离子渗氮	良	优良	优良	较差	优良	中
盐浴硫氮碳共渗	优良	良	中	中	良	优良
气体氮碳共渗	优良	优良	中	良	优良	优良
低温电解渗硫	优良	—	—	—	—	抗咬合能力优良，不耐磨

工艺名称	抗磨粒磨损性能	表面硬度HV0.1（不低于）			渗层深度/mm
		碳素结构钢	合金结构钢	合金工具钢	
气体渗氮	良	400	700	950	一般0.3~0.5，特殊0.5~0.7
离子渗氮	良	400	700	950	一般0.2~0.4，特殊0.4~0.8
盐浴硫氮碳共渗	较差	450	650	950	≤0.3
气体氮碳共渗	较差	450	650	950	≤0.3
低温电解渗硫	较差	—	—	—	≤0.02

4.2　根据工件的材料及技术要求选择工艺

4.2.1　碳素钢工件，不应选用气体渗氮（抗蚀渗氮除外）或离子渗氮，应采用气体氮碳共渗或盐浴硫氮碳共渗。

4.2.2　铸铁工件，回火温度低于520℃的弹簧钢等工件，应选用气体氮碳共渗或离子渗氮。

4.2.3　形状复杂件，有深孔、小孔、细狭缝或盲孔的需硬化工件，不应选用离子渗氮。

4.2.4　需要局部渗或局部防渗的工件，不应选用盐浴硫氮碳共渗。

4.2.5　要求有效硬化层深度大于0.35mm的工件应选用离子渗氮或气体渗氮；要求渗层较浅的工件应选用盐浴硫氮碳共渗或气体氮碳共渗，也可选用离子渗氮。

4.3　根据工件的尺寸和生产批量选择工艺

4.3.1　工件尺寸较大且批量生产，应用气体氮碳共渗或离子渗氮。

4.3.2　品种单一且大批量生产，可选用气体氮碳共渗；工件大小不一，品种多，宜采用盐浴硫氮碳共渗。

4.4　根据综合经济效益选择工艺

从生产效率、生产周期、能源消耗、设备投资、生产成本及环境保护等因素综合考虑，因厂制宜地合理选择工艺见表2。

表2　五种低温化学热处理工艺方法综合经济效益比较

工艺名称	设备繁简及投资额	生产周期及节能、节材潜力	生产效率	劳动条件及对环境有无污染	成本	实现连续作业生产难易
气体渗氮	一般，投资额不大	周期长，能耗较大、节材潜力小	较低	较好，无污染	较高	较难

（续）

工艺名称	设备繁简及投资额	生产周期及节能、节材潜力	生产效率	劳动条件及对环境有无污染	成本	实现连续作业生产难易
离子渗氮	较复杂，投资额较大	周期较短，比气体渗氮节能约1/3	较高	好，无污染	较高	较难
盐浴硫氮碳共渗	简单，投资额较小	周期短，能耗比气体法小，部分工件可用碳钢制造，经共渗后代替不锈钢、青铜	高	一般，共渗后在氧化浴等温则清洗水可直接排放，否则应先加 $FeSO_4$ 中和	较低	较易
气体氮碳共渗	一般，投资额不大	周期较短，部分工件可用碳钢制造，经共渗后代替不锈钢	较高	较好，排气口点燃并先用溶剂萃取氢氰酸，则不污染大气	较低	较易
低温电解渗硫	简单，投资额较小	周期短，能耗低	高	较好，无污染	较低	较易

5　低温化学热处理工艺的实施

分别参照GB/T 18177、JB/T 6956、JB/T 4155、JB/T 9198等相关标准执行。低温电解渗硫可参照有关工艺执行。

附　录　A

（资料性附录）

适用于齿轮的低温化学热处理工艺

适用于齿轮的低温化学热处理工艺见表A.1。

表　A.1

齿轮负荷/MPa	模数范围/mm	材　　料	渗层主要性能		推荐的工艺	齿轮达到的疲劳强度极限	
			渗层组织	渗层深度/mm		接触疲劳极限/MPa	弯曲疲劳极限/MPa
低负荷齿轮<500	<3	碳素结构钢、合金结构钢、不锈钢等	表层以ε相为主	<0.3	盐浴硫氮碳共渗；气体氮碳共渗；气体或离子渗氮等	<600	<200
中负荷齿轮500~1000	4~8	合金结构钢	表层以γ′化合物为主	0.3~0.5	离子渗氮；深层离子渗氮；气体渗氮	600~1200	200~250
高负荷齿轮>1000	9~12	合金结构钢	表层以γ′化合物为主	>0.5	深层离子渗氮；气体渗氮	1200~1500	250~330

附　录　B

（资料性附录）

适用于轴类工件的低温化学热处理工艺

适用于轴类工件的低温化学热处理工艺见表B.1。

表　B.1

工件名称	失效形式	材料	渗层主要性能		推荐工艺
			表面硬度 HV0.1	渗层深度/mm	
拖拉机曲轴	疲劳、磨损	QT600-3	≥700	0.15～0.20	气体氮碳共渗 盐浴硫氮碳共渗
		45	≥500	0.25～0.35	
大功率柴油机及船用柴油机曲轴	疲劳、磨损	42CrMoAl 40CrNiMo 35CrNi3W	≥800	0.4～0.6	离子渗氮 气体渗氮
镗床与机床主轴	磨损、疲劳	38CrMoAl 38CrWVAl	≥1000	0.4～0.6	气体渗氮 离子渗氮
传动轴齿轮轴	疲劳	40Cr 38CrMoAl 40CrNiMo	≥800	0.2～0.4	离子渗氮 气体氮碳共渗 盐浴硫氮碳共渗
能量调节杆	咬死、磨损、疲劳	45	500～600	0.2～0.3	盐浴硫氮碳共渗

附　录　C

（资料性附录）

适用于模具的低温化学热处理工艺

适用于模具的低温化学热处理工艺见表 C.1。

表　C.1

模具类别	失效形式	材　　料	渗层主要性能		推荐工艺
			表面硬度 HV0.1	渗层深度/mm	
高精度冷冲模	冲击疲劳 黏着磨损	Cr12Mo Cr12MoV W6Mo5Cr4V2 W18Cr4V65Nb	≥1000	0.8～0.12 化合物层深≤5μm	气体氮碳共渗 盐浴硫氮碳共渗
拉深模（不锈钢、钛合金等金属加工用）	黏着磨损	Cr12Mo Cr12MoV W6Mo5Cr4V2 W18Cr4V 65Nb	≥1000	0.08～0.12 化合物层深≤5μm～10μm	盐浴硫氮碳共渗 气体氮碳共渗
铝（或锌）合金挤压模及压铸模	冷热疲劳 黏着磨损	4Cr5MoVSi 3Cr2W8	≥900	≥0.15， 化合物层深＞8μm	离子渗氮 盐浴硫氮碳共渗 气体氮碳共渗
塑料成型模	黏着磨损	40Cr 45 40Mn2	≥600	0.2～0.25， 化合物层深≥8μm	盐浴硫氮碳共渗 气体氮碳共渗

第十二节　深层渗碳技术要求

一、概论

深层渗碳是一种特殊的化学热处理方法，目的是增加工件表层的碳含量和达到一定的碳浓度梯

度，将工件在渗碳介质中加热并保温，使碳原子渗入表层，使其有效硬化层深度达到 3mm 以上。深层渗碳作为一套完整的热处理技术，主要用于大型成套产品重载零件的表层硬化处理。采掘、破碎、起重运输、冶炼、连铸、轧制、锻压、水泥、航空、高速铁路及风电等大型装备中的关键零件表层硬化均采用深层渗碳技术，重载齿轮采用深层渗碳淬火回火技术后，齿轮寿命提高 2 倍以上。

国外 20 世纪六七十年代已将深层渗碳技术应用于大型成套设备的重载零件表层硬化中，并取得极大成功。经深层渗碳处理后的零件，无论在可靠性、使用寿命上均有很大的提高，并逐步形成一系列规范性技术文件和作业标准。美国著名的工程机械企业卡特彼勒公司制定了一系列零部件深层渗碳技术条件；同时，美国齿轮制造商协会（AGMA）也制定了一整套重载齿轮深层渗碳的行业标准。因此，使该项技术获得广泛应用。我国从 20 世纪 80 年代起对该技术组织了公关，从材料要求、工艺开发到设备研制，广泛进行了研究，并获得成功。尤其在 20 世纪 90 年代，此项技术已经广泛地推广与应用，取得了显著的成绩。在轴承行业、重型机械行业及齿轮行业都有了突破性的进展，这些都使得深层渗碳成为重载零件有效和不可替代的表层硬化处理方法。

近年来随着国际制造业向我国转移，尤其是风电、水电、工程机械和高铁等各类钢制锻件传动系统的国产化生产，采用深层渗碳工艺的热处理量不断增加，全国各地深层渗碳热处理产品质量参差不齐，急需改善提高，2010 年全国热处理技术标准化委员会适时提出将过去已有的行业标准 JB/T 8929—2008《深层渗碳》尽快升级为国家标准，得到行业内广泛响应，许多长期在热处理生产研发一线、具有丰富实践经验的技术人员参加了标准的制定，对提高标准的实用性做出了贡献。本标准相对于原行业标准主要有如下进步：

1）在标准规范性和实践指导性上有了大幅度的提高。

2）根据深层渗碳工艺周期长、能耗高的特点，结合近期国内外逐步推行采用高温渗碳工艺以缩短处理周期，通过复合工艺调整组织以保证产品性能和控制畸变，把渗碳设备最高使用温度提高到 1050°C，对热处理设备制造企业提出更高的要求，以推动高温渗碳工艺的推广。

3）为提高深层渗碳同炉或不同批次产品的质量稳定性，提出具体的炉温均匀性和控温仪表精度等级要求，把原标准碳势控制精度要求提升到炉内碳势均匀性控制要求，同时设置循环风扇、导流装置，对较大尺寸炉型实施多区控温加热，以保证炉温及气氛均匀性。

4）为满足渗碳设备气氛控制及质量控制要求，提出增加定碳孔、炉气分析取气口和试样孔的要求，对实施重要零部件渗碳处理的设备需设置双路碳势检测系统，一路控制，一路监控，推荐采用专家系统在线控制，并需定期对碳势控制系统实施校准。

5）增加对实施深层渗碳设备的种类及配套设备的要求，提出设备满足长时间可靠运行、故障报警和自诊断的功能要求。

6）对炉气控制使用化工原料给出了具体的质量指标要求。

7）增加了渗碳产品表面碳浓度检测的方法及要求。

8）增加了渗层渗碳淬火回火后的金相组织的具体要求，首次在热处理国家标准中提出晶界内氧化层深及非马组织层深的控制要求。

9）增加了热处理加工及设备等的节能要求。

总的来说，该国家标准在标准规范性、实用指导性、满足深层渗碳新技术发展要求等方面有了较大进步，对热处理深层渗碳技术发展将发挥推动作用。

二、标准应用说明

1. 编制原则

（1）结构方面。严格按照 GB/T 1.1《标准化工作导则　第 1 部分：标准的结构和编写规则》编写。

（2）内容方面。主要规定了深层渗碳的通用技术要求。

（3）编制原则。力求“务求实效，细化要求，提高质量，增强可操作性”。

2. 解决的主要问题

本标准是针对深层渗碳热处理全套技术，对深层渗碳材料、工艺、设备、质量检验及安全技术和节能环保等提出了基本要求。

本标准适用于工件的深层渗碳，对正确应用深层渗碳技术，控制产品质量具有指导作用。

3. 主要内容的确立

（1）规范性引用文件。由于规范性引用文件是使用标准所不可缺少的文件，文件中的有关条款也是标准不可分割的组成部分。因此，本标准引用了 GB/T 25744、GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、GB/T 7232 和 GB/Z 18718 等文件。这些文件的引用，应作为标准本身的条款对待。

（2）术语和定义。根据术语学原理，术语和定义是可以相互替换的。但是术语简短，定义可能冗长。一项标准中会涉及许多术语，经起草工作组的认真讨论，本标准除采用 GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》外，还对深层渗碳工艺作业过程中反复出现的“心部组织”和“碳势均匀度”术语给出了英文词条及定义。

（3）深层渗碳用钢。在深层渗碳处理前，应对钢种进行确认，并提出材料成分分析报告。必要时对低高倍组织、非金属夹杂物、金属平均晶粒度、内部缺陷以及材料淬透性和力学性能进行检测，并按相关技术标准进行确认。具体钢种见表 2.12-1。

表 2.12-1　深层渗碳常用钢种

钢种类别	牌　　号	标　　准
合金结构钢	20CrMnSi,25CrMnSi,20CrV,20CrMnTi,12CrMo,15CrMo,20CrMo,20CrMnMo,12CrMoV,25CrMoVA	GB/T 3077
保证淬透性结构钢	20Mn2BH,20MnTiBH,20MnVBH,20MnMoBH,20SiMnVBH,20MnTiBREH,20Cr3MoWVAH,20CrNiH,12CrNi2H,12CrNi3H,20CrNi3H,20CrNi2H,12Cr2Ni4H,20Cr2Ni4H,18Cr2Ni4WAH,20Cr2Ni4WAH, 20CrNiMoH, 17Cr2Ni2MoH, 18CrMnNiMoAH, G20CrNi2MoH, 16CrMnH,20CrMnH,22CrMoH,17CrMnBH	GB/T 5216

（4）深层渗碳设备。深层渗碳设备可以是单台渗碳炉，也可以是渗碳热处理生产线。渗碳热处理生产线主要是由渗碳炉、冷却装置、回火设备、清洗机、装卸料机构、备料台、气氛系统和控制系统等组成。渗碳炉可以是井式炉、密封箱式炉、底装料立式炉和真空渗碳炉等。加热方式一般为电或燃料加热。该条的规定是对深层渗碳设备提出整体性的要求，更有利于深层渗碳设备的设计、制造、使用以及维护。

1）给出了“5.1 一般要求”，对渗碳炉的各个组成部分进行了规定。具体条款如下：5.1.1 深层渗碳设备的组成；5.1.2 设计、制造和安全性；5.1.3 可靠性。

2）对“温度均匀性、温度控制精度和碳势均匀度”给出了明确的参数要求，对应的条款是 5.2.1.2、表 1 和 5.2.2.1。

3）对保证“温度均匀性和控温仪表精度等级”的相关装置给出了对应的条款是 5.2.1.3、5.2.1.4 和 5.2.1.5，对保证“碳势均匀性的相关装置”给出的条款是 5.2.2.3、5.2.2.4 和 5.2.2.5。

4）关于温度和碳势的要求，其中对温度均匀性、温度控制精度和碳势均匀性十分重要，应给出明确规定，标准才具有指导实际可操作性强的作用。因此，增加了关于保证“温度均匀性、温度控制精度和碳势均匀性”的相关装置的规定。因为这几项参数是影响深层渗碳的主要因素，同

时标准中第5章也是对深层渗碳设备的要求，所以对装置的规定应是必不可少的内容。

5）关于深层渗碳炉的最高温度，给出了明确规定：深层渗碳炉的最高温度一般为1050°C（对应条款见5.2.1.1）。

6）深层渗碳所用的制备气氛均为化工原料，为满足深层渗碳要求，在表2.12-2中给出了“化工原料”技术要求。

表2.12-2 化工原料技术要求

名 称	主要成分	标准编号
丙烷	$C_3H_8 \geqslant 90\%$（体积分数）	—
异丙醇	纯度>98.5% 水<0.3%（质量分数）	—
乙炔	C_2H_2	GB 6819
甲醇	纯度≥99.5%，水<0.3%（质量分数）	GB/T 683
氮气	纯度≥99.5%，$O_2 \leqslant 0.5\%$（体积分数）	GB/T 3864

（5）深层渗碳工艺。增加深层渗碳工艺方法是十分有必要的，其次有利于做深层渗碳工艺的企业参考此工艺方法，同时也有利于对后续条款的理解。

1）明确给出了深层渗碳常用的三种工艺方法。对应的具体条款为：

6.1.1 工艺流程1：渗碳→缓冷→球化→重新加热淬火→清洗→回火。

6.1.2 工艺流程2：渗碳→淬火→清洗→球化→重新加热淬火→清洗→回火。

6.1.3 工艺流程3：渗碳→淬火→清洗→回火。

2）在“6.2 处理前的准备工作”做了如下规定：

①6.2.1 确认工件的质量要求，确定防渗部位的防渗措施，了解钢材的牌号（或化学成分）和预备热处理是否符合要求。

②6.2.2 关于工件的检查和清理。

③6.2.3 设计制造工装应不影响深层渗碳的质量。

④部分质量检验的条款中需要用到随炉试样，所以对随炉试样的要求进行规定，见6.2.6。

⑤6.3.5 碳势检测可按现场条件使用氧探头碳势测定仪、红外仪或热丝仪，定期对碳势控制系统实施校准。

（6）质量要求

1）在“7.1.1 表面硬度”中引入了在表面硬度测量的相关国家标准，使得表面硬度的测量有了强有力的依据，规定了深层渗碳表面硬度测量应符合GB/T 230.1、GB/T 4340.1和GB/T 4341的规定。表面硬度应在最终处理后的工件上测量，测量部位按工件技术要求先定，若有特别协议可在随炉试样表面测量。深层渗碳表面硬度不均匀度允许偏差应符合表2.12-3的规定的描述。有效加热区的炉温均匀性可按GB/T 9452规定的方法测定。

表2.12-3 深层渗碳炉温均匀性和控温精度要求（不大于）

工件级别	炉温均匀性	控温精度
重要件	±6°C	±1°C
一般件	±10°C	±1°C

2）通常深层渗碳心部硬度、心部硬度测量位置根据工件情况而定。可在最终热处理后的试样上测量，若有特别协议（或不能解剖工件）时，可在随炉试样心部测量。所以在本标准中明确规定：深层渗碳心部硬度一般在随炉试样上测量，若要求在热处理的工件上测量，则可以在本体上取

样进行测量（对应条款见 7.1.2）。

3）因为表面碳浓度也是质量要求的一个重要内容，规定表面碳浓度可按剥层法或光谱法检测，一般为 0.75%～1.1%（质量分数）。当要求韧性较好时，取下限；当要求耐磨性较好时，取上限（见标准中 7.3）。

（7）金相组织

1）金相组织可按 GB/T 25744《钢件渗碳淬火回火金相检验》或用户要求进行检验和评级。按照现有标准执行，操作性、实用性、可靠性强。同时，本标准在金相检验的内容上，还参照美国 AGMA 标准，增加了“内氧化层深”与“非马氏体组织层深”两项重要项目，由于重载零件工况特殊而且复杂，内氧化与非马氏体组织的存在将严重影响使用寿命，尤其我国企业与国外客户合作时，经常也被要求检验这两项指标。

2）渗碳件经过淬火、回火后，金相组织应符合表 2.12-4 的要求。

3）对于齿轮件、晶界氧化及非马氏体组织，可按表 2.12-5 规定的要求检验并判定。

表 2.12-4　深层渗碳淬火回火后金相组织的要求

工件类别	马氏体级别	残留奥氏体级别	碳化物级别	内氧化要求	心部组织级别
重要件	≤3 级	≤4 级	≤2 级	按技术协议	≤3 级
一般件	≤4 级	≤4 级	≤3 级		≤4 级

表 2.12-5　晶界氧化、非马氏体组织的检验和判定

晶界氧化和非马氏体组织		等级 1	等级 2	等级 3
指定有效渗碳层的最低深度/mm		未规定	容许最大深度/μm	容许最大深度/μm
≥	<			
—	0.75		17	12
0.75	1.50		25	20
1.50	2.25		38	20
2.25	3.00		50	25
3.00	—		60	30

4）一般工件可不做心部力学性能检查。有特殊要求时，可用同一材料制成直径与被测部位相同长 200mm 的试样，做防渗处理后，与工件进行同样热处理，制成标准力学性能试样，按常规测定试样抗拉强度、屈服强度、伸长率、断面收缩率和冲击韧度。

（8）安全卫生与节能。节能工作是热处理工作的重要任务。近年来，国家颁布了一系列关于热处理行业节能方面的标准。深层渗碳也必须毫无例外地严格执行，包括有 GB 18718《热处理技术节能导则》、GB/T 17358《热处理生产电耗计算和测定方法》、GB/T 15318《工业热处理电炉节能监测方法》和 GB/T 19944《热处理生产燃料消耗计算和测定方法》。（江苏丰东热技术股份有限公司向建华供稿）

三、标准内容（GB/T 28694—2012）

深层渗碳　技术要求

1　范围

本标准规定了深层渗碳材料、深层渗碳设备要求、深层渗碳工艺、质量检验、安全卫生和节能

要求。

本标准适用于工件的深层渗碳。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 224 钢的脱碳层深度测定方法

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）

GB/T 683 化学试剂 甲醇

GB/T 3864 工业氮

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 4341 金属肖氏硬度试验方法

GB 5959.1 电热装置的安全 第1部分：通用要求

GB 5959.4 电热装置的安全 第4部分：对电阻加热装置的特殊要求

GB 6819 溶解乙炔

GB/T 7232 金属热处理工艺术语

GB/T 9450 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10067.4 电热装置基本技术条件 第4部分：间接电阻炉

GB 15735 金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 16923 钢件的正火与退火

GB/T 16924 钢件的淬火与回火

GB/Z 18718 热处理节能技术导则

GB/T 25744—2010 钢件渗碳淬火回火金相检验

3 术语和定义

GB/T 7232 中所界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 心部组织 core structure

距表面3倍于渗碳淬火有效硬化层深度区域的组织。

3.2 碳势均匀度 carbon potential uniformity

在试验温度下热稳定状态时的碳势均匀程度。碳势均匀度表示为：在规定的各个测量点上所测的最高和最低碳势的差。

4 深层渗碳材料

4.1 钢种的选择

钢种应采用本质细晶粒钢。深层渗碳钢种按零件的性能要求选择，特殊要求的零件按需要选用特殊钢种。

4.2 材料检验及确认

4.2.1 在深层渗碳处理前，应对钢种进行确认，并提出材料成分分析报告。

4.2.2 必要时对低高倍组织、非金属夹杂物、金属平均晶粒度、内部缺陷以及材料淬透性和力学性能进行检测。

5 深层渗碳设备要求

5.1 一般要求

5.1.1　深层渗碳设备的设计、制造和安全性应符合 GB 5959.1、GB 5959.4 和 GB/T 10067.4 中的有关规定。

5.1.2　深层渗碳设备应为单台渗碳炉或渗碳热处理生产线（由渗碳炉、冷却装置、回火设备、清洗机、装卸料机构、备料台、气氛系统和控制系统等组成）。渗碳炉有井式炉、密封箱式炉、底装料立式炉和真空渗碳炉等。

5.1.3　深层渗碳设备应具有良好的可靠性，以适应长时间连续生产的特点。采用计算机控制及管理系统的渗碳设备一般应具有设备故障报警和自诊断功能。

5.2　渗碳炉

5.2.1　温度控制

5.2.1.1　渗碳炉的加热方式一般为电加热或燃料加热，最高使用温度一般为1050°C。

5.2.1.2　加热设备应满足有效加热区炉温均匀性和控温仪表精度等级的要求（见表1），有效加热区的炉温均匀性应按 GB/T 9452 规定。

表1　深层渗碳炉温均匀性和控温仪表精度等级要求（不大于）

工件级别	炉温均匀性	控温仪表精度等级
重要件	±5°C	0.2 级
一般件	±8°C	0.5 级

5.2.1.3　深层渗碳炉一般采用多区加热、设置循环风扇和导风装置，以保证炉温均匀性和气氛均匀性。

5.2.1.4　应按 GB/T 9452 的规定对控温系统进行校准，以保证控温精度。

5.2.1.5　深层渗碳炉应配有温度记录装置。

5.2.2　气氛控制

5.2.2.1　渗碳气氛应是可控气氛，炉内碳势均匀度≤±0.05%。

5.2.2.2　渗碳气氛的主要化工原料应满足表2的要求。

表2　化工原料技术要求

名　称	主要成分(体积分数)	标　准
丙烷	纯度≥90%,总硫含量≤15mg/m^3	—
异丙醇	纯度>98.5%,水含量<0.3%	—
溶解乙炔	纯度>98.0%	GB 6819
甲醇	纯度≥99.5%,水含量<0.3%	GB/T 683
工业氮	纯度≥99.5%,氧含量≤0.5%	GB/T 3864

5.2.2.3　深层渗碳炉应配有碳势控制系统，并配有定碳孔、试样孔和取气口，必要时可设置双路碳势检测系统，一路用于控制，另一路用于监控，必要时可切换控制。

5.2.2.4　渗碳气氛控制可采用程序控制或专家系统在线控制的方式。

5.2.2.5　渗碳炉应有良好的密封性，炉内气氛不得有泄漏现象，炉膛内压力应保持稳定正压。

5.3　球化退火及淬火加热设备

5.3.1　有效加热区内温度均匀性在设定温度处应不大于±10°C。

5.3.2　淬火加热炉应配备气氛供给和控制系统。

5.4　冷却设备

5.4.1 淬火冷却设备一般应配备淬火介质的加热和冷却装置，并具有导向搅拌系统和温度调节系统。

5.4.2 淬火介质的使用温度范围应符合 GB/T 16924 的规定。

5.4.3 淬火介质质量应符合相关标准的规定。

5.4.4 深层渗碳缓冷坑或冷却设备应能通保护气氛或滴注有机液体。特殊要求的可以配备温度控制装置。

5.5 回火设备

有效加热区内温度均匀性在设定温度处不大于 ±10°C。

5.6 设备的维修、保养和检定

应制定定期维修、保养和检定制度，并严格执行，存有详细记录。

6 深层渗碳工艺

6.1 深层渗碳工艺方法

6.1.1 工艺方法 1：渗碳→缓冷→球化退火→加热淬火→清洗→回火。

6.1.2 工艺方法 2：渗碳→淬火→清洗→球化退火→加热淬火→清洗→回火。

6.1.3 工艺方法 3：渗碳→淬火→清洗→回火。

6.2 处理前的准备工作

6.2.1 按工件的质量要求，确定防渗部位的防渗措施，了解钢材的牌号（或化学成分）和预备热处理是否符合要求。

6.2.2 应去除氧化皮及锈斑，并清洗、干燥；检查工件或试样是否有裂纹，必要时进行无损检测。

6.2.3 结构设计和制造应不影响深层渗碳的质量。

6.2.4 检查深层渗碳设备及测量控制设备是否正常。

6.2.5 检查形成气氛的原料及形成气氛的装置是否正常。

6.2.6 随炉试样，过程试样可参照 GB/T 25744—2010 中第 4 章的要求执行。

6.3 深层渗碳处理

6.3.1 装炉

工件应装在有效加热区内，并装入随炉试样和过程试样。

注：随炉试样是作为检查深层渗碳淬火回火后质量的标准试样；过程试样是作为检查深层渗碳过程中不同时间渗碳情况的标准试样。

6.3.2 升温

控制升温速度，使零件各部分之间不产生明显的温差，必要时应分段升温。

6.3.3 排气

工件从进炉后，应通氮气进行排气处理，通气量按炉子容积而定。当温度升到 750℃时，通入载气，直到升至深层渗碳温度。

6.3.4 渗碳

通富化气，调整气氛碳势到设定值，按工件技术要求确定深层渗碳保温时间。

6.3.5 碳势测量及校准

碳势检测可按现场条件使用氧探头碳势测定仪、红外仪或热丝仪等，定期对碳势控制系统实施校准。

6.3.6 过程试样的检验并记录

定时取出过程试样，检验深层渗碳情况，并作记录。

6.3.7 冷却

对要求降温直接淬火的工件，淬火前应注意均温。非直接淬火的工件缓冷时应采取防止或减少氧化脱碳的措施。必要时用保护气氛或滴注有机液体方法进行保护。缓冷时应采取措施，以减少畸变和防止开裂。

6.4　渗碳后淬火与回火

6.4.1　淬火加热、冷却及回火设备应符合 5.3、5.4、5.5 的规定。

6.4.2　必要时可在淬火前进行球化退火，球化退火应符合 GB/T 16923 的规定。

6.4.3　淬火回火加热温度和保温时间参照 GB/T 16924 规定，并应符合工件材料的要求。

6.4.4　淬火加热时应采取防止氧化脱碳措施，工件淬火后应及时回火。

6.4.5　大件深层渗碳时应保证工件各部位的温度均匀性、对工件采取合理的加热和冷却方法。

6.4.6　淬火介质应满足 5.4.2、5.4.3 的规定。

6.4.7　淬火加热及冷却时，应采取措施减少工件畸变、防止工件开裂。

6.5　后续工序

6.5.1　清除工件上残留的淬火介质和其他残留物。

6.5.2　测量工件畸变情况并作记录，必要时进行校直。

6.5.3　分析随炉试样深层渗碳淬火回火质量，并作记录。

6.5.4　对工件进行防锈处理。

6.5.5　整理处理过程中所有记录（温度、碳势、过程检查和最终检查情况及其他必要的事项）。

7　质量检验

7.1　硬度

7.1.1　表面硬度

表面硬度应在最终处理后的工件上测量，测量部位按工件技术要求确定，若有特别协议可在随炉试样表面测量。测量应符合 GB/T 230.1、GB/T 4340.1 和 GB/T 4341 的规定。深层渗碳表面硬度不均匀度允许偏差应符合表 3 的规定。

表 3　表面硬度不均匀度允许偏差

工 件 类 型	硬度不均匀度允许偏差①		
	HRC	HV1	HS
重要件②	≤3	≤75	≤5
一般件	≤4	≤102	≤6

① 局部深层渗碳硬度测量位置不应在渗碳与未渗碳交界处。

② 重要件是指对质量有特殊要求的零件。

7.1.2　心部硬度

深层渗碳心部硬度一般在随炉试样上测量，若有特殊要求，则可解剖工件进行测量。心部硬度应符合相关标准或技术协议要求。

7.2　有效硬化层深度

7.2.1　一般应在最终热处理后随炉试样的横截面上进行测量，若有特别协议时，可在工件横截面上进行测量。

7.2.2　硬化层深度测量方法应符合 GB/T 9450 的规定。硬化层不均匀度允许偏差小于 10%。

7.3　表面碳浓度

表面碳浓度可按剥层法或光谱法检测，一般为 0.75% ~1.1%（质量分数）。当要求韧度较好时，取下限；当要求耐磨性较好时，取上限。

7.4　金相组织

7.4.1 金相组织可按 GB/T 25744 中有关的规定进行检验并评级。

7.4.2 渗碳件经过淬火、回火后，金相组织应符合表 4 的要求。

表 4 深层渗碳淬火回火后金相组织的要求

工件类型	金相组织级别级				晶界内氧化层深要求/μm	非马氏体组织层深要求/μm
	马氏体	残留奥氏体	碳化物	心部组织		
重要件	≤3 级	≤4 级	≤2 级	≤3 级	≤30	≤30
一般件	≤4 级	≤4 级	≤3 级	≤4 级	≤60	≤60

7.5 心部力学性能

一般工件可不作心部力学性能检查，有特殊要求时，可用同一材料制成直径与被测部位相同长 200mm 的试样，做防渗处理后，与工件进行同样热处理，制成标准力学性能试样，按常规测定试样抗拉强度、屈服强度、伸长率、断面收缩率和冲击韧度。

7.6 深层渗碳缺陷检查

7.6.1 畸变

深层渗碳、球化处理、淬火回火后可用特定量具测量工件畸变情况，测量内容可根据工件技术要求确定。畸变量（可为校直后畸变量）应在技术要求范围内。

7.6.2 裂纹

一般工件用目测检查裂纹是否存在，重要件选用无损检测法检查裂纹。

7.6.3 表面脱碳

按 GB/T 224 的规定的方法测定表面脱碳。

8 安全卫生和节能要求

安全卫生要求应符合 GB/T 15735 的规定，节能要求应符合 GB/Z 18718 的规定。

第十三节 高 温 渗 碳

一、概论

1. 目的和必要性

高温渗碳是显著缩短渗碳周期和节约能源的热处理工艺新技术。高温渗碳最大的优点是，渗碳温度从 920°C 提高到 1000°C 以上，可以缩短约 60% 的工艺时间，节约 50% 的能源消耗和减少相应的废气排放。高温渗碳显著的经济效益引起国内外热处理行业的广泛重视。特别是美国热处理行业，从 20 世纪 70 年代至今未停止对高温渗碳的研究，美国热处理学会于 2004 年公布的《2020 年热处理发展路线图》，把高温渗碳列为值得重视的研发项目。我国也早就开展了对高温渗碳工艺的研究，但是由于各种原因，很长时间未能实现在工业上的生产应用。进入 21 世纪后，高温渗碳的工艺研究、工艺设备、工艺应用迅速发展并取得了多项技术成果。

目前，国内外均没有高温渗碳的相关标准。为了更好地引导高温渗碳工艺技术的普及推广应用，推进高温渗碳适用钢种的研制和生产，规范高温渗碳设备的设计和制造，需要制定高温渗碳工艺及设备的相关标准和规范。

该标准的制定和实施，将有力地推动高温渗碳这项高效节能技术在我国的推广应用，带来良好的经济效益。

2. 国内外情况说明

早在20世纪五六十年代，高温渗碳工艺就引起了世界各工业国的重视，特别是美国热处理界，至今未停止对高温渗碳的研究。进入21世纪之后，我国在高温渗碳工艺和设备上取得了多项技术成果，得到越来越多的推广应用。

（1）国际上对高温渗碳的研究和应用。美国金属学会气体渗碳委员会于1977年编写的《渗碳与氰化》一书中介绍，美国一家生产重型轴承滚柱和套圈的企业，采用980°C高温气体渗碳处理轴承滚柱和套圈已有十多年历史；另一家企业在周期式炉内采用1010°C批量处理纺织机罗拉，渗层深度为4~5mm，每炉仅需16h，而按同样要求，920°C渗碳，需要72h。

2004年美国热处理学会公布了《2020年热处理发展路线图》，在路线图中将高温渗碳作为“能显著缩短渗碳周期和节约能源”的项目而列入“值得重视的研发项目”，同时把“研发在高于1010°C抗晶粒长大的渗碳钢”列为工艺和材料研究项目。这说明1010°C以下的高温渗碳已经在工业生产中得到应用。

日本《金属》杂志早在1977年曾刊登一篇有关高温渗碳的文章。该文作者指出，对高温渗碳，日本各公司也曾尝试提高渗碳温度，由于炉子的寿命是严重的障碍，因而几乎未能实用。美国也做过尝试，其结论是现有的气体渗碳炉损耗严重，需进一步研究适用于高温渗碳的炉子。这说明设备在高温渗碳中起着极其关键的作用。直到今天，设备依然是高温渗碳的关键。因此，本标准把对设备的要求也作为一个重点，在功能、结构、温度控制、气氛控制、辅助设施及质量、寿命、可靠性等方面提出了比较严格的要求。

（2）国内外对高温渗碳中晶粒度粗化的研究。渗碳温度越高，材料内部的晶粒度粗化越严重，进而影响材料的力学性能，所以限制了高温渗碳工艺的应用。渗碳上限温度，一直以来都没有一个确定的数据。对目前用于渗碳的材料而言，不同温度下晶粒度变化的研究，国内外都有不少报道，表2.13-1和表2.13-2是国内外的一些试验结果。

表2.13-1　不同钢种高温渗碳晶粒长大情况

钢　　种	渗碳前晶粒度	渗碳时间/h	不同温度渗碳后的晶粒度			
			930°C	980°C	1040°C	1090°C
1117(20Mn)	8	1	6~7	6~7	4~6	3~5
4615(15NiMo)	8	1	8	8	8	7~8
8620(20CrNiMo)	8	1	7	7	7	4~6
9315(15CrNiMoA)	8	1	8	8	8	8
1117(20Mn)	8	3	5~7	4~7	4~7	3~6
4615(15NiMo)	8	3	8	8	8	6~7
8620(20CrNiMo)	8	3	7	7	7	3~6
9315(15CrNiMoA)	8	3	8	8	8	8

从表2.13-1数据可知，大多数钢种在1040°C渗碳后仍保持细晶粒，在1090°C渗碳后，部分钢种转变为粗晶粒。但是，只要在渗碳后采取合适的冷却工艺（包括二次加热淬火），可使材料组织恢复为细晶粒。

表2.13-2　不同钢种常温（920°C）、高温渗碳（1040°C）后力学性能对比

钢　　种	R_m/MPa		A(%)		Z(%)		a_K(J/cm^2)		断裂负荷/10N	
	920	1040	920	1040	920	1040	920	1040	920	1040
18CrMnTi	1431	1382	7.2	5.6	48	50	66.6	71.5	2272	3522
12CrNi3A	1294	1284	7.3	7.5	53	53	79.4	79.0	2030	2720
25Cr	1254	1313	4.7	4.2	36	42	54.9	63.7	2050	2980

从表2.13-2数据可见，18CrMnTi、12CrNi3A、25Cr等细晶粒钢在1050°C渗碳，力学性能并不降低，部分性能甚至有所提高。

（3）国内外对高温渗碳工艺时间的研究。高温渗碳的温度越高，缩短的工艺时间越多，见表2.13-3。

表2.13-3　不同高温渗碳温度下渗层深度与渗碳时间的关系

渗层深度/mm	渗碳温度/°C				
	900	930	980	1010	1040
	渗碳时间/h	渗碳时间/h	渗碳时间/h	渗碳时间/h	渗碳时间/h
0.5	0.9	0.6	0.35	0.3	0.2
1.0	3.5	2.5	1.25	1.00	0.8
1.5	8.0	5.5	3.0	2.25	1.7
2.0	14.0	10.0	5.5	4.0	3.0
3.0	31.3	23.0	12.0	9.0	6.5

钢的渗碳是在奥氏体状态下碳从钢表面向内层的扩散。按F. E. Harris公式，钢的有效渗层深度δ(mm)与渗碳时间τ(h)的关系取决于温度T(K)，即

$$\delta = K\sqrt{\tau}$$

式中渗碳常数$K = 660e^{-8287/T}$

在一定温度下渗碳时，K（见表2.13-4）是常数，K随着温度的升高而明显增大，碳从钢表面向内层的扩散速度随着温度的升高而显著加快。

表2.13-4　低碳钢和低合金钢不同渗碳温度下渗碳常数*K*及扩散速度比率

渗碳温度/°C	900	920	940	960	980	1000	1020	1050	1100
渗碳常数K	0.564	0.635	0.712	0.796	0.885	0.982	1.087	1.257	1.636
扩散速率比率η	1	1.126	1.262	1.411	1.569	1.741	1.927	2.229	2.901

（4）国内对高温渗碳工艺和设备的研究。我国从20世纪50年代固体高温渗碳的研究到90年代的气体高温渗碳的研究，高温渗碳工艺一直未能进入工业生产的应用，高温渗碳设备也处于一个空白状态。当年的上海机床厂、上海汽轮机厂、南京机床厂等单位的热处理工作者在提高渗碳温度的实验方面做了大量的工作，并在专业期刊上公布了试验结果，为我国高温渗碳的深入研究打下了一个良好的基础。

进入21世纪以来，我国一部分热处理科研人员仍然坚持不懈，不断进取，并找到了高温渗碳晶粒长大的规律和防止晶粒长大的解决办法，分别撰文介绍这方面的进展，有力地促进了高温渗碳技术的发展。

2006年，樊东黎先生著文介绍了美国热处理技术发展路线图，在我国引起了一次探索我国热处理未来的大范围讨论。近几年来，高温渗碳项目再度引起我国企业的重视，当年的困难在现今条件下已得到较好地解决，高温渗碳技术中工艺和设备方面均取得了重大突破，高温渗碳在生产上的应用也有了迅速的发展。

高温密封多用炉、精密可控气氛高温箱式多用炉生产线、井式高温渗碳炉机组等专用设备已投入批量生产应用。精密可控气氛高温箱式多用炉、精密可控气氛井式高温渗碳炉已通过了热处理行业专家会议的鉴定，并列入工信部《节能机电设备（产品）推介目录》。

在高温箱式多用炉和大型井式高温渗碳炉中长期采用 980°C 强渗、1050°C 扩散的高温渗碳工艺进行生产，取得了良好的效果。

（5）标准采用的先进技术和成果

1）温度测量和炉温均匀性。采用美国 AMS 2750E、GB/T 30825《热处理温度测量》和 GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》关于炉温均匀性测量方法，使本标准的先进性和可操作性与先进的国内外标准保持一致性。

2）气氛测量和控制。气氛控制是实现高温渗碳工艺的关键，智能化控制技术在先进的工业国家已经得到普及，我国的常规控制方法正在逐步被氧探头控制系统所取代，特别是智能化精密渗碳控制系统，具有控制精度高、能耗低、介质消耗少、渗碳质量好的特点。

标准规定高温渗碳气氛碳势控制应配备主控和监控系统。主控使用氧探头控制碳势，氧探头的使用温度应能达到 1100°C，最高测量碳势不低于 1.5%；监控使用氧探头或 CO、CO_2 红外分析仪监视气氛碳势。

配置渗碳智能专家系统软件，实现渗碳工艺的离线辅助设计，渗碳工艺过程的在线动态实时控制。

二、标准应用说明

本标准规定了钢件在 950°C 以上高温气体渗碳的常用钢种、设备、工艺、质量检验、能源消耗及安全卫生要求等。本标准适用于钢件的气体高温渗碳。

1. 待处理工件

明确了高温渗碳用钢种应优先选用晶粒长大耐受温度较高的细晶粒钢，并规定了对待处理工件的加工状态、外观、质量、形状、尺寸、精度偏差的要求进行了解和记录。

2. 高温渗碳设备

明确了高温渗碳设备的基本工作条件、技术性能和配置，并对其重要功能件提出了质量寿命的要求，保障了高温渗碳工艺的生产应用。

3. 高温渗碳工艺

1）明确了高温渗碳的温度范围。根据渗碳件材料和质量要求选择合适的高温渗碳工艺，给出附录 A（资料性附录）“高温渗碳常用工艺”，供高温渗碳工艺运用的参考。

2）规定了高温渗碳中的“炭黑极限”值。

3）对高温渗碳工艺及过程做了详细的叙述，注重其可操作性，以具有广泛的指导作用，便于高温渗碳这一先进工艺在国内的推广和应用。

4. 质量检验以及能源消耗要求

本标准对高温渗碳产品质量检验也做出了严格的规定，确保了高温渗碳产品质量的控制和提高。[天龙科技炉业（无锡）有限公司供稿]

三、标准内容（GB/T 待批）

高 温 渗 碳

1　范围

本标准规定了钢件在 950℃以上高温气体渗碳的常用钢种、设备、工艺、质量检验、能源消耗及安全卫生要求等。

本标准适用于钢件的气体高温渗碳。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 230.1 金属材料洛氏硬度试验 第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2009，ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 1182 产品几何技术规范（GPS）几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 4341 金属肖氏硬度试验方法

GB/T 5216 保证淬透性结构钢

GB 5226.1 机械安全 机械电气设备 第一部分：通用技术条件（IEC 60204-1：2000，IDT）

GB 5959.4 电热装置的安全 第4部分：对电阻加热装置的特殊要求（IEC 60519：2006，IDT）

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定法（ASTM E112：1996，MOD）

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 9450 钢件渗碳淬火有效硬化层深度的测定和校核

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10067.1 电热装置基本技术条件 第1部分：通用部分

GB/T 10067.4 电热装置基本技术条件 第4部分：间接电阻炉

GB 15735 金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 15822.1 无损检测 磁粉检测 第1部分：总则

GB/T 16924 钢件的淬火与回火

GB/T 17358 热处理生产电耗计算和测定方法

GB/T 19944 热处理生产燃料消耗计算和测定方法

GB/T 25744 钢件渗碳淬火回火金相检验

3 术语和定义

GB/T 7232 和 GB/T 10067.1 所确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 高温渗碳 high temperature carburizing

在950℃以上温度进行的渗碳。

3.2 炭黑极限 soot limit

渗碳气氛在对应温度下开始析出炭黑时的碳势。

4 待处理工件

4.1 材料

采用高温渗碳的工件应优先选用晶粒长大耐受温度较高的细晶粒钢，常用钢种见表1。

表1 高温渗碳常用钢种

钢种类别	钢号
合金结构钢 GB/T 3077	20CrMnTi，20CrMnMo，12CrMoV，25Cr2MoVA，25Cr2Mo1VA，12CrNi2，12CrNi3，12Cr2Ni4，20CrNi，20CrNi3，20Cr2Ni4，20CrNiMo，18CrNiMnMoA，18Cr2Ni4WA，25Cr2Ni4WA
保证淬透性结构钢 GB/T 5216	12Cr2Ni4H，20CrNi3H，16CrMnH，20CrMnH，22CrMoH，20CrNiMoH，20CrMnMoH，15CrMnBH，17CrMnBH，20Cr2Ni4H，20CrNi2MoH，15CrMoH，20CrMoH，20MnVBH，20MnTiBH
其他钢种	15CrNi3Mo，17CrNiMo6，18CrNiMo7-6，20Cr3MoWVAH，20Cr2Ni4WAH，17Cr2Ni2MoH，18CrMnNiMoAH，G20CrNi2MoH

4.2　加工状态

根据表2所列项目注明待处理工件的加工状态，并保存相关记录。

表2　待处理工件的加工状态

项　目	备　注
（1）材料数据 牌号 化学成分① 炼钢炉号① 硬度及其他力学性能① 淬透性① 金相组织①	 晶粒度、脱碳层、非金属夹杂物、显微组织
（2）处理前的加工制造方法 铸造 锻造 轧制 挤压 冲压 拉拔 旋压 焊接 气割 机械加工	 注明铸造工艺，必要时应注明金相组织 注明冷锻、热锻，必要时应注明锻造比 注明冷轧、热轧 注明冷挤压、热挤压 注明冷、热冲压状态 注明冷、热拉拔 注明冷、热旋压 注明焊接方法 注明气割方法 注明机械加工方法及切削量
（3）处理前的热处理状态 正火 完全退火 球化退火 去应力退火 淬火回火（调质）	需要时，注明加热温度、保温时间和冷却方法
（4）矫正及其程度①	注明冷矫正或热矫正

①　可根据工件的具体要求，部分或全部省略。

4.3　外观、质量、形状、尺寸、精度

工件的外观、质量、形状、尺寸、精度偏差要求应符合GB/T 1182的规定，记录应予以保存见表3。

表3　待处理工件的外观、质量、形状、尺寸、精度记录

项　目	备　注
（1）外观	裂纹、划痕、锈蚀、黑皮等
（2）质量①	以千克作为计量单位
（3）工件的形状① 特殊形状 厚度差异 孔的形状及位置	用简图表示

（续）

项　　目	备　　注
（4）尺寸和精度[①]	用简图表示
尺寸	
整体加工偏差	
表面粗糙度	
尺寸精度	
形状偏差[②]	直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度及面轮廓度
定向公差[②]	平行度、垂直度、倾斜度
定位公差[②]	位置度、同轴度、同心度、对称度

① 可根据工件的具体要求，部分或全部省略。

② 各几何公差的定义依据 GB/T 1182。

4.4　待处理件的验收

应根据 5.1、5.2 和 5.3 的规定验收工件。必要时应对一些重要的或有疑问的项目进行复检。

5　高温渗碳设备

5.1　设备组成与基本要求

高温渗碳设备可以是周期式炉或连续式炉生产线。生产线一般由高温渗碳炉、缓冷装置、淬火装置、回火炉、清洗机及辅助设备、气氛系统和控制系统等组成。

高温渗碳设备应符合 GB/T 10067.4 的有关规定。高温渗碳设备应满足高温渗碳工艺的要求。

高温渗碳设备的安全性应符合 GB 5226.1 和 GB 5959.4 中的有关规定。高温渗碳设备应具有良好的可靠性和易维修性，以满足高温渗碳工艺在高温下长时间作业的需要。

5.2　高温渗碳炉

5.2.1　加热元件

加热元件采用高电阻电热合金或其他材料，应满足高温和高碳势气氛下的稳定工作，其工作寿命应不低于 1 年。

5.2.2　炉衬

炉衬应满足高温和高碳势渗碳气氛下的稳定工作；其工作寿命应不低于 5 年，炉衬材料和结构应能保证炉体表面温升≤50℃。

5.2.3　循环风机

应满足高温渗碳工艺中炉温和气氛均匀性的要求，其工作寿命应不低于 1 年。

5.2.4　炉内构件

炉底承重装置或炉底导轨、炉罐、马弗、气氛导流装置等应有足够的高温强度，确保设备能在高温和高碳势渗碳气氛下稳定工作，其工作寿命应不低于 3 年。

5.2.5　快冷装置

需要在高温渗碳后快冷降温的渗碳炉应配备快冷装置，从 1050℃ 到 900℃ 的快速冷却时间应不大于 1h。

5.2.6　安全装置

设备应配置超温联锁保护装置、安全温度与渗碳气氛供给的联锁控制装置、炉压控制与联锁控制装置、泄压和防爆装置、废气燃烧联锁控制与排放装置等，确保设备安全可靠运行。

5.2.7　密封

设备应具有良好的密封，避免炉气泄漏。

5.2.8　取样装置

应配有定碳装置、试样装置和供红外分析仪取气分析的接口。

5.2.9　温度控制

5.2.9.1　最高使用温度不低于1100℃。

5.2.9.2　炉温控制精度≤±1℃。

5.2.9.3　炉温均匀性≤±8℃。炉温均匀性应按GB/T 9452的规定进行测定。

5.2.10　气氛控制

5.2.10.1　高温渗碳气氛推荐使用滴注式气氛或氮气+甲醇气氛。使用氮气+甲醇气氛时，应采取措施确保氮气和甲醇的流量比例稳定。

5.2.10.2　气氛碳势控制应配备主控和监控系统。主控系统使用氧探头控制碳势，氧探头使用温度应能达到1100℃，最高测量碳势不低于1.5%；监控系统使用氧探头或CO、CO_2红外分析仪监控碳势。

5.2.10.3　碳势控制精度≤±0.05%。

5.2.11　工艺过程控制系统

可配置渗碳智能专家系统软件，实现渗碳工艺的离线辅助设计及工艺过程的在线动态实时控制。

5.3　淬火装置

5.3.1　淬火装置应配有淬火介质的搅拌、加热和热交换系统。

5.3.2　淬火介质的温度应能调节和控制。

5.3.3　淬火装置应配有防爆、灭火、排烟、液位监控等安全设施。

5.4　缓冷装置

5.4.1　缓冷装置必要时可配备可通入保护气氛或介质的流量控制装置，以防止工件在缓冷过程中的氧化、脱碳。

5.4.2　缓冷装置需要时可配备能调节缓冷速度的降温装置。

5.5　高温回火炉

5.5.1　应配备炉气循环装置和保护气氛装置。

5.5.2　温度控制精度≤±1℃。

5.5.3　炉温均匀性≤±8℃。炉温均匀性应按GB/T 9452的规定进行测定。

5.6　淬火加热炉

5.6.1　用于高温渗碳后的二次加热淬火，可以使用高温渗碳炉或其他可控气氛淬火加热炉。

5.6.2　单独配置的淬火加热炉，最高使用温度为950℃。

5.6.3　炉温控制精度≤±1℃。

5.6.4　炉温均匀性≤±8℃。炉温均匀性应按GB/T 9452的规定进行测定。

5.6.5　应配备气氛安全温度联锁和超温联锁控制。

5.6.6　推荐使用滴注式气氛或氮气+甲醇气氛，氮气纯度不低于99.995%，碳势控制范围0.6%~1.1%，碳势控制精度≤±0.05%。

5.6.7　应配有气氛循环装置和定碳取样装置。

5.7　低温回火炉

5.7.1　应配备循环风机和导流装置。

5.7.2　炉温控制精度≤±1℃。

5.7.3　炉温均匀性≤±8℃。炉温均匀性应按GB/T 9452的规定进行测定。

5.8 清洗机及辅助设备

5.8.1 清洗机及所有辅助设备应能满足工艺安全使用的需要。

5.8.2 清洗过程中产生的废气、废液的排放应符合 GB 15735 的要求。

5.9 设备的维护保养和检定

应制定设备的操作规程和维护保养、检定制度，并妥善保管记录。

6 高温渗碳工艺过程

6.1 高温渗碳工艺

6.1.1 高温渗碳应根据渗碳件材料和质量要求选择合适的工艺。常用工艺可参考附录 A。

6.1.2 高温渗碳温度根据工件材料、硬化层深度确定，在 950～1050℃之间选择。

6.1.3 强渗碳势不得超过对应渗碳温度下的炭黑极限，不同温度的炭黑极限可参照表 4。

表 4 不同温度的炭黑极限值

渗碳温度/℃	800	850	900	950	1000	1050	1100
炭黑极限(质量分数,%)	0.86	1.02	1.18	1.34	1.51	1.67	1.83

6.1.4 渗碳时间根据硬化层深度和渗碳温度确定，强渗时间一般为扩散时间的 2～5 倍。

6.1.5 扩散一般可在渗碳温度下进行，如渗碳后碳浓度过高或已经形成碳化物，可选用高于渗碳温度下进行扩散。

6.1.6 扩散碳势根据工件表面碳浓度和材料合金含量确定，扩散碳势一般在 0.65%～1.00%。

6.1.7 为防止碳化物析出，扩散后可采用快速降温。

6.2 渗碳后的处理

6.2.1 直接淬火

根据工件材料晶粒在高温下的长大规律和渗碳层深度，在不影响工件力学性能条件下，优先选择渗碳后直接淬火。直接淬火时，需降温至淬火温度并均温，淬火温度一般为 800～860℃。

6.2.2 缓冷

6.2.2.1 对要求渗碳后缓冷的工件，渗碳后降温至工艺规定温度后出炉缓冷，并采取措施防止氧化脱碳。

6.2.2.2 根据设备的结构，可通入氮气或甲醇、乙醇，对通入的甲醇、乙醇应保证在750℃时能安全切断。

6.2.2.3 通入的氮气纯度应不低于 99.995%，氮气流量应能调节。

6.2.2.4 为防止缓冷时形成网状或块状碳化物组织，应对缓冷速度进行适当的控制。

6.2.3 高温回火

6.2.3.1 高温回火时应采用氮气保护，氮气纯度不低于 99.995%。

6.2.3.2 高温回火温度一般为 500～700 ℃，保温时间参照 GB/T 16924 确定。

6.2.4 二次加热淬火与低温回火

6.2.4.1 二次淬火加热温度一般为 800～860℃，保温时间参照 GB/T 16924 确定。

6.2.4.2 二次淬火加热气氛碳势应根据工件对表面碳浓度的要求确定。

6.2.4.3 低温回火温度根据工件的最终硬度要求确定，一般为 160～220 ℃。

6.3 后续工序

6.3.1 及时清除工件上附着的残留物。

6.3.2 如有需要，可对工件进行喷丸等表面强化处理。

6.3.3　对工件进行防锈处理。

7　质量检验

7.1　外观

已处理工件表面不应有因热处理引起的裂纹、熔融、烧伤及明显划痕。

7.2　硬度

硬度应按 GB/T 230.1、GB/T 4340.1 和 GB/T 4341 规定的方法进行检测。

7.2.1　表面硬度

高温渗碳淬火后表面硬度偏差应不超过表5的要求。

表5　表面硬度偏差要求

工件类别	硬度偏差		
	HRC	HV1	HS
同一工件①	≤3	≤75	≤5
同一炉工件	≤4	≤102	≤6

①　局部渗碳硬度测量位置不应在渗碳与未渗碳交界处。

7.2.2　心部硬度

心部硬度应符合工件技术要求，一般在随炉试样上测量，有特殊要求时，可通过解剖工件进行。

7.3　有效硬化层深度

7.3.1　有效硬化层深度的测定应符合 GB/T 9450 的规定，偏差应小于硬化层深度的10%。

7.3.2　有效硬化层一般在随炉试样上测量，若有特别要求时，可在解剖的工件截面上进行。

7.4　表面碳含量

表面碳含量可按剥层法或光谱法检测，一般为0.75%C～1.0%C。当要求韧性较好时，取下限；要求耐磨性较好时，取上限。

7.5　金相组织

7.5.1　金相组织按 GB/T 25744 进行检验，晶粒度级别按 GB/T 6394 进行评定，其结果应符合表6的要求。

表6　高温渗碳工件金相组织要求

马氏体级别	残留奥氏体级别	碳化物级别	心部组织级别	金属平均晶粒度级别
≤4级	≤4级	≤3级	≤4级	≥5级

7.5.2　表层内氧化层的深度按 GB/T 25744 进行检测检定，其结果应符合表7的要求。

表7　表层内氧化层深度要求

渗层深度 e/mm	级别/级	渗层深度 e/mm	级别/级
$e \leq 0.75$	≤3	$1.50 < e \leq 3.00$	≤5
$0.75 < e \leq 1.50$	≤4	$e > 3.00$	≤6

7.6　畸变

高温渗碳、淬火回火后，可用特定量具测量工件畸变情况，测量内容可根据工件技术要求确定。畸变量（可为校直后畸变量）应符合技术要求。

7.7 检验设备

7.7.1 硬度计及标准块应经检定合格，并在检定周期内使用。

7.7.2 定碳天平、光谱、磁粉探伤机、金相显微镜或相关测微标尺等应经检定合格，并在检定周期内使用。

8 能源消耗要求

8.1 高温渗碳的电能测定、计算及消耗应符合 GB/T 17358 的有关规定。

8.2 高温渗碳的工艺燃料测定、计算及消耗应符合 GB/T 19944 的有关规定。

9 安全卫生与劳动保护要求

高温渗碳生产过程的安全卫生与劳动保护应符合 GB 15735 的有关规定。

10 产品报告单

根据要求可按每批或每炉填写报告单。

报告单应包括下列内容：

a）批号或炉号；

b）工艺类型或代号；

c）工件名称和图号；

d）工件材料的牌号；

e）工件材料处理前组织状态；

f）单件重量及数量；

g）质量检验结果；

h）加工单位；

i）操作者；

j）质量检验员；

k）报告日期。

附 录 A
（资料性附录）
常用高温渗碳工艺

A.1 高温渗碳淬火回火工艺

图 A.1 为常用高温渗碳淬火回火工艺曲线。

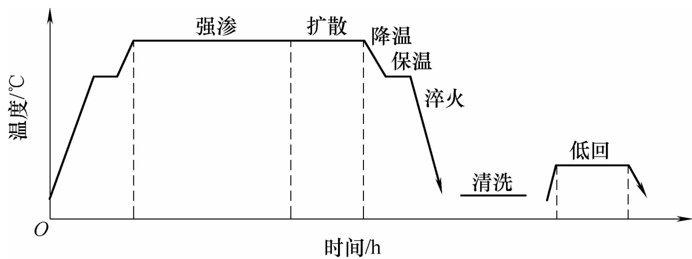


图 A.1 常用高温渗碳淬火回火工艺曲线

A.2 高温渗碳二次淬火回火工艺

图 A.2 为常用高温渗碳二次淬火回火工艺曲线。

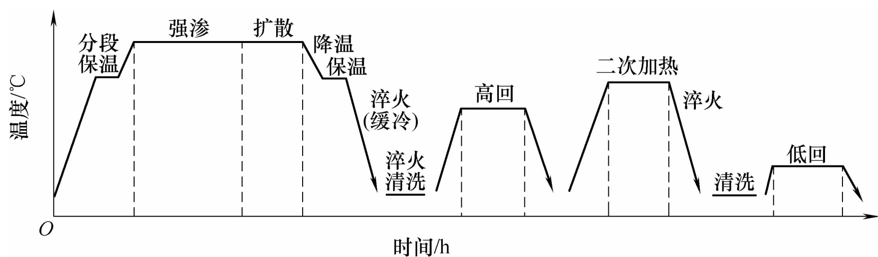


图 A. 2　常用高温渗碳二次淬火回火工艺曲线

第十四节　钢件真空渗碳淬火

一、概论

真空渗碳淬火热处理工艺具有很多优点：处理工件表面无氧化，无脱碳，无晶间氧化，变形小；综合力学性能好，使用寿命长；工艺过程无污染，无公害，自动化程度高，完全符合环保要求。真空渗碳比传统渗碳工艺渗速快，降低了能源消耗，原料、辅料消耗少。高压气淬工艺 N_2 可以回收利用，属于节能减排绿色热处理。

近几年，随着汽车、摩托车行业以及航空工业的高速发展，真空渗碳技术在国内外应用呈迅速发展趋势。真空渗碳技术的应用带动了真空渗碳设备设计、制造技术的不断完善和进步，同时，真空渗碳装备的进步又提高了产品的使用寿命和可靠性。

由于国内外目前还没有真空渗碳淬火热处理标准，因此，设备制造厂和设备采购、使用企业在设计制造以及引进产品消化吸收业务往来中，由于采用不统一的标准，经常出现质量纠纷。我国已经成为汽车、摩托车和工程机械制造大国，与国际交往日益增加，真空渗碳淬火热处理工艺已成为提高产品质量的必由之路，应用越来越多，范围不断扩大。因此，建立我国的真空渗碳淬火以规范行业生产已成为迫在眉睫的事。

在制定本标准的过程中，遵循了内容全面、技术先进、实用性强以及推荐数据可靠原则，参考了国内外有关真空渗碳技术文件，以及齿轮材料和热处理相关标准文件，收集、总结、分析了国内有代表性企业的成熟经验和技术文件编写而成。

二、标准应用说明

1. 标准名称

《2008 年度热处理标准制修订计划》中本标准名称为《低压真空渗碳高压气淬热处理》，后来更改为《钢件真空渗碳淬火》。其理由如下：

1）真空渗碳后淬火工艺主要有三种：高压气淬、油淬火、缓冷后二次淬火，更改为新名称后使本标准包括内容范围更广泛，更系统全面，提高标准科学性。

2）就我国目前情况看，真空渗碳后淬火工艺以油淬和缓冷后二次淬火居多，真空渗碳高压气淬虽然是发展方向，但限于我国目前保证淬透性钢水平比较低，质量和数量都不能适用真空高压气淬发展形势，真空渗碳高压气淬使用还不普遍；另一方面原有渗碳工艺大都为气体渗碳，渗碳后采用油淬火或者缓冷后二次油淬火，如果更改为真空渗碳后高压气淬，属于重大工艺更改，还需要进行必要的工艺试验和产品试验，需要一定时间和过程。因此，本标准名称更改后更适合我国目前情况和国情，使标准适用性更强。

3）真空渗碳工艺还可能用于高温合金、钛合金等材料。目前主要用于钢件，所以本标准在真空渗碳淬火之前冠以“钢件”，使标准名称更准确；另外与已有标准 JB/T 3999《钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火处理》协调一致。

4）依据 GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》中“真空渗碳”名词解释和英文注解（真空渗碳 partial pressure carburizing，vacuum carburizing，low pressure carburizing），其含义已经包含了“低压”的意思；同时在汉语用法习惯上“低压真空”有重复的含义。因此，将标准名称直接改为“真空渗碳”涵盖了“低压真空渗碳”，同时修改后的标准适用面更广。

2. 关于术语和定义

标准中涉及的术语在引用的相关标准中有详细解释的，在本标准术语项中不再列出。

本标准“送审稿”中定义了工件表面“碳富化率”术语，主要考虑到碳富化率是真空渗碳工艺过程中衡量碳传递的一个特定的参数。根据国外公司对真空渗碳研究表明：在工件表面积小于等于 $2m^2$ 范围内，富化气通入量达到一定值时，碳富化率是定值。这样，低压真空渗碳过程就可以用温度、时间、富化气流量和压力 4 个参数进行控制，可以通过测定碳富化率来评估工艺参数的合理性。

在标准的审查讨论中，“碳富化率”这个概念争议较大，最后大家达成共识将这个概念和建立在这个概念上的试验和生产实测数据作为“资料性附录”推荐。

3. 设备要求

1）真空渗碳淬火的设备主要有真空渗碳高压气淬炉（单室或双室）、真空渗碳油淬炉（一般为双室），以及由多个真空渗碳炉与若干个高压气淬室或真空油淬室组成的生产线，以满足不同批量生产的需要。

真空渗碳淬火设备与其他真空热处理一样，需要良好气密性、炉温均匀性、抽真空系统、控制系统、水冷却系统等，所以应符合 GB/T 10067.1、GB/T 10067.4、GB/T 22561、JB/T 8195.3、JB/T 8195.4、GB/T 9452、JB/T 10175 等有关规定。

2）真空渗碳炉真空度不要求太高，标准规定极限真空度不低于 10Pa，一般选用机械泵 + 罗茨泵就够了。真空渗碳炉还有两个关键问题：气氛均匀性和防炭黑污染。因为真空渗碳炉没有风扇进行气流循环，气氛均匀性主要靠喷嘴结构和分布以及流量与压力精确控制来保证。防炭黑污染措施也主要依靠气氛均匀、流量与压力精确控制。此外，炭黑与焦油对真空系统污染比一般真空炉严重。因此，应采取增加过滤装置和及时清理、定期换油等措施，保证抽真空系统正常。

3）真空高压气淬室强调属于压力容器，按压力容器设计制造。高压气淬室要达到淬火功能，强调淬火冷却气氛迅速充入、压力自动控制和压强自动补偿功能，要有合适的换热器和导流装置，保证冷却需要。

4）真空油淬室强调淬火能力控制，要有油面压强自动控制，良好换热器和导流装置，均匀循环搅拌等。

4. 工艺要求

工艺要求包括工艺参数和工艺过程控制两部分。

1）工艺参数主要有加热温度、保温时间及渗碳压强与流量。

加热温度一般为 920～1050°C，常用加热温度为 920～980°C。对于晶粒度不易粗化的钢可以选温度上限，晶粒度易于粗化的钢应选用温度下限。高合金和不锈钢真空渗碳可选用 1050℃或更高。

真空渗碳一般由渗碳和扩散两部分组成，当碳的富化率一定时，真空渗碳保温时间主要由渗层深度和加热温度来决定。标准中给出了推荐值。

真空渗碳的强渗期富化气一般采用脉冲方式通入，富化气主要采用丙烷或乙炔，通入量主要取

决于渗碳工件的表面积。标准中给出了推荐值。

真空渗碳的扩散期要通入适量氮气，以保护炉内压强。

2）工艺过程。真空渗碳淬火工艺过程主要包括工件和工装准备、装炉、升温、渗碳与扩散、淬火、出炉与清洗6部分。

真空渗碳与一般真空热处理不同之处在于要使工件均匀接触渗碳气氛和均匀渗碳，所以要特别注意工件清洗要干净，装夹防止渗碳面被遮挡，强渗期间富化气脉冲充气要合适等。

真空渗碳要强调关注工件材料淬透性，选择合适的保证淬透性钢种、合适的淬火温度、淬火压强、流速与流量等。

真空渗碳油淬一般采用先充气后入油，控制淬火温度。

真空渗碳淬火后出炉温度应小于100°C，以保持真空热处理工件的光亮度。

5. 质量控制与检验

真空渗碳淬火工艺的质量控制强调了生产过程的控制，要求严格执行JB/T 10175和本标准有关规定。

真空渗碳淬火检验与气体渗碳淬火检验基本一致，工序安排上应在回火后检验；在金相组织检查方面，对内氧化层制样有更高要求。

6. 安全卫生和环保要求

安全卫生要求与一般真空热处理和气体渗碳相似，按GB 15735、GB 5959.1、GB 5959.4和JB 8434有关规定执行。值得特别关注的是，对于高压气淬炉、高压储罐及管路等要按高压容器管理和使用，从设计、制造、到安装调试，一直到正常运行使用都必须严格按高压容器处理。

7. 标准应用注意事项

1）附录中表A.1主要是提供给工艺人员参考的，数据经浙江双环传动现场5年多（2003～2008年）的应用，可靠实用。但标准起草组在国内调研时也收到某些厂家反映真空渗碳很容易产生炭黑的情况，这可能与富化气通入流量过大和工件表面积小不匹配有关，真空渗碳工艺编制时容易忽视工件表面积，这点是真空渗碳和气体渗碳不同之处。真空渗碳工艺参数中富化气通入量确定要考虑炉中工件的表面积。

2）流量的控制虽然有流量计，但在实际应用中，真空炉由于流量计多，各个流量计彼此完全调节平衡很难，因此，不可能每炉都依据装炉工件表面积去调节流量。在实际设备制造和应用上，将流量分为高、中、低三档即能满足工程要求，也能避免产生炭黑。其中高流量值可设计为中流量值加上低流量值，由PLC控制即可。这是真空渗碳炉设计和应用上要特别注意的一点。

3）附录B.1中数据是以20CrMoH和SAE8620H材料为基础收集到的实际生产工艺数据，可以直接采用。但应注意不同真空渗碳设备的差异，强渗时通入富化气一般不是连续通入推荐时间，而是脉冲通入。连续通入容易造成积炭黑和引起渗碳层深度不均匀，在实际生产中应分成多个脉冲供富化气，单个脉冲时间一般不低于60s。

在实际生产中也发现Cr-Mn系材料在同样工艺条件下渗碳速度明显大于Cr-Mo材料，其中原因还不太清楚，是否与真空状态下两类材料的扩散系数有差异有关需要进一步验证，也希望有测试条件的科研院所、高校进一步研究。

4）由于高压气淬储罐压力大于0.8MPa时，标准推荐采用“液氮增压泵＋汽化方式”供气，不排斥“制氮机＋气体增压泵方式”供气。标准推荐方式主要是为了避免采用制氮机＋气体增压泵时容易出现的弊端，包括气体增压泵抽空会造成氮气纯度下降和气体增加泵中润滑油污染氮气现象。请采用制氮机＋气体增压泵供气方式的设计制造单位和使用单位注意这些问题。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 11078—2011）

钢件真空渗碳淬火

1 范围

本标准规定了真空渗碳淬火的术语和定义、工艺分类及代号，设备及工艺材料、工艺及工艺过程、质量控制和检验、安全卫生和环保等要求。

本标准适用于钢件真空渗碳淬火的热处理工艺。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 150　钢制压力容器

GB/T 230.1　金属材料　洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2009，ISO 6508-1：2005，MOD）

GB/T 3480.5　直齿轮和斜齿轮承载能力计算　第5部分：材料的强度和质量（GB/T 3480.5—2008，ISO 6336-5：2003，IDT）

GB/T 4340.1　金属材料　维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—2009，ISO 6507-1：2005，MOD）

GB/T 5216　保证淬透性结构钢

GB 5959.1　电热装置的安全　第1部分：通用要求（GB 5959.1—2005，IEC 60519-1：2003，IDT）

GB 5959.4　电热装置的安全　第4部分：对电阻加热装置的特殊要求（GB 5959.4—2008，IEC 60519-9：2005，IDT）

GB 6819　溶解乙炔

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10067.1　电热设备基本技术条件　第1部分：通用部分

GB/T 10067.4　电热设备基本技术条件　第4部分：间接电阻炉

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 22561　真空热处理

JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火

JB/T 6050　钢件热处理零件硬度测试通则

JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气一般技术要求

JB/T 8195.3　间接电阻炉　ZR系列真空热处理和钎焊炉

JB/T 8195.4　间接电阻炉　ZC系列真空淬火炉

JB 8434　热处理环境保护技术要求

JB/T 10175　热处理质量控制要求

QC/T 262　汽车渗碳齿轮金相检验

SH/T 0553　工业丙烷、丁烷

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324 中确定的术语和定义适用于本标准。

4　工艺分类及代号

真空渗碳淬火工艺分类及代号应符合 GB/T 12603 规定，见表 1。

表 1　真空渗碳淬火工艺分类及代号

工 艺 分 类	代　　号
真空渗碳	531-02
真空气体淬火	513-02G
真空油淬火	513-02O

5　设备及工艺材料要求

5.1　真空渗碳淬火设备分类

真空渗碳淬火设备分为单室或双室真空渗碳高压气淬炉、双室真空渗碳油淬炉、多室真空渗碳炉与真空高压气淬室或真空油淬室组成的生产线。

5.2　真空渗碳淬火设备的一般要求

真空渗碳淬火炉应符合 GB/T 22561、GB/T 10067.1、GB/T 10067.4、JB/T 8195.3、JB/T 8195.4 的规定。

5.3　真空渗碳炉

5.3.1　真空渗碳炉应符合 JB/T 10175 的规定。

5.3.2　真空渗碳炉的每个加热区应有两支热电偶，一支接温度自动控制仪表，另一支接温度指示自动记录仪表，安装在靠近炉子的有效加热区，其中一块仪表具有报警功能。

5.3.3　渗碳炉有效加热区内温度均匀性偏差应不大于 ±5°C，炉温均匀性应按 GB/T 9452 的规定测量，炉子应配备炉温均匀性测定用安装孔。

5.3.4　真空渗碳炉应配置电压，电流、电能消耗、炉子温度、炉内压强、冷却水温度测量指示仪表。

5.3.5　真空渗碳炉应配置渗碳工艺气氛压强、流量测量指示和控制、冷却水管路压强、流量测量指示和控制。

5.3.6　使用的仪表和热电偶等传感器应定期检定。

5.3.7　在常压下加热允许对地绝级电阻应不低于 5MΩ，在不通冷却水条件下测量。

5.3.8　极限真空压强不低于 50Pa。抽气时间应不大于 30min。

5.3.9　炉子使用过程中，真空压强应能满足工艺要求。单个渗碳室真空压升率应不大于 0.5Pa/(L·s)，对于多个渗碳室组成的生产线，总压升率可叠加而得（压升率在炉子充分干燥后测定）。

5.3.10　真空渗碳炉富化气喷嘴在炉内分布要均匀，流量和压力控制精确，确保炉内气氛均匀。

5.3.11　真空泵组前级应配备炭黑、焦油过滤装置并定期清理，真空泵应定期换油、维护保养。

5.3.12　真空渗碳炉应定期进行检查和维护，并做好记录。

5.4　真空淬火室

5.4.1 高压气淬室

5.4.1.1 高压气淬室设计、制造应符合 GB 150 的规定。

5.4.1.2 高压气淬室应配备压力传感器、安全阀等装置。

5.4.1.3 气淬室应配备淬火冷却气氛充入压强自动控制和压强自动补偿功能。

5.4.1.4 冷却搅拌风扇转速和搅拌时间应可以调节，以适用不同的工艺要求。

5.4.1.5 气淬室换热器和导流装置设计、制造应能满足高压气淬工艺要求。

5.4.1.6 气淬室换热器一般采用水冷方式，冷却水进口水温一般不大于 27°C、压力不小于 0.2MPa，流量可以调节。

5.4.1.7 气淬室放气管路应配备消声器。

5.4.1.8 气淬室应具有压力调节功能，可以适应工件缓冷要求。

5.4.1.9 高压淬火用气优先选用氮气（N_2），也可用氦气（He）、氢气（H_2）、一氧化碳气（CO）以及它们之间不同比例的混合气，纯度应符合 JB/T 7530 的要求。

5.4.1.10 对于淬火压力要求大于 0.8MPa 的储罐，应采用液氮增压泵 + 汽化方式达到储罐设定压强。为确保增压充气安全，增压泵与高压储罐压强传感器应设置安全互锁装置。

5.4.2 真空油淬室

5.4.2.1 淬火槽中升降机构应具备安全应急装置。

5.4.2.2 淬火槽淬火瞬间充入氮气时，油面压强应能自动控制。

5.4.2.3 淬火油槽温度应能自动控制和调解，采用两支热电偶进行控制、记录和报警。

5.4.2.4 淬火槽油面压强推荐 8×10^4Pa。

5.4.2.5 淬火油搅拌速度应具备调节和自动控制功能。

5.4.2.6 导流装置和油冷却换热器应满足工艺要求。

5.4.2.7 淬火油槽应安装油位指示计和油位安全报警装置。

5.4.2.8 淬火油应选用真空淬火油，首次加油后要进行加热、抽真空除气。

5.4.2.9 为适应工件缓冷要求，真空油淬室应具有≤0.2MPa 气冷功能。

5.4.3 工艺材料

5.4.3.1 真空渗碳富化气为乙炔气（C_2H_2）或丙烷气（C_3H_8），纯度不低于 96%，并应符合 GB 6819、SH/T 0533 的规定。

5.4.3.2 工艺过程压强调解用气体为高纯氮气（N_2），纯度不低于 99.995%，并应符合 JB/T 7530 的相关规定。

5.4.3.3 富化气和氮气（N_2）管路中应设减压、稳压以及压强报警装置，压强应稳定在 0.2MPa 左右。

6 工艺及工艺过程要求

6.1 工艺参数

6.1.1 真空渗碳加热温度

真空渗碳加热温度一般采用 920 ~ 1050°C，常用真空渗碳温度 920 ~ 980°C。

6.1.2 渗碳压强和气体流量

真空渗碳室压强一般为 300 ~ 2000Pa，常用压强 400 ~ 800Pa，工艺气氛进口压强一般设定为 0.2MPa。强渗过程中富化气的供给应采用脉冲方式通入。为了平衡炉内压强，扩散过程可通入适量氮气。强渗过程中富化气通入量一般按装入工件表面积确定。表面积越大，流量也越大。每炉工件表面积一般不大于 20m^2。富化气流量见附录 A。

6.1.3 真空渗碳保温时间

真空渗碳保温时间分为渗碳时间、扩散时间。渗碳时间按工艺温度、深层深度、碳富化率来确定，碳富化率一般为 8 ~ 15mg/(cm^2 · h)。扩散时间主要按表面碳含量和碳含量梯度来确定。渗碳保温时间见附录 B。

6.2　工艺过程要求

6.2.1　工件及工装

入炉工件及工装应进行清洗并烘干，不应有锈斑，不应有对工件、炉膛产生有害影响的污物、低熔点涂层、镀层等。需要防渗碳部位可采用镀层或戴防渗螺母等办法。

6.2.2　装炉

轴类产品不应用平板冲孔的工装挂放，应采用三点支撑方式挂装；或者双层组合工装竖放。串放产品应保证有一定的间距，应有轴向定位防止高压气淬时摇摆。

平放产品应上、下层工件中心错开放置，若支撑板上装料位置无固定脚，应采用挡边，防止工件气淬时滑落；支撑方式最好是三点支撑；不能用冲孔平板。

6.2.3　升温

空炉应采用 860 ~ 890℃保温，工件入炉后达到规定的真空度开始加热升温。根据工件形状、装炉方式以及对变形的要求选择不同的加热速率，一般在 700 ~ 800°C、保温 25 ~ 45min，然后继续升温到工作温度，并保温 20 ~ 30min 后开始渗碳。

6.2.4　渗碳和扩散

6.2.4.1　对于畸形要求严格的工件可选择渗碳温度下限。

6.2.4.2　齿轮类工件采用脉冲方式供气时，可减小轮齿节圆部位和齿根部位的层深差，但富化气单个脉冲时间不应小于 50s。

6.2.4.3　对于盲孔和深孔渗碳工件，富化气应采用乙炔气（C_2H_2）。并用较高供气压强和气体流量进行供气，必要时富化气中可适量添加高纯 N_2 以避免炭黑的产生。

6.2.5　淬火

6.2.5.1　高压气淬

真空渗碳高压气淬的工件，应选用高淬透性低碳合金结构钢，并应符合 GB/T 5216 的规定。对于齿轮类工件，心部硬度要求 25 ~ 45HRC 时，材料淬透性 $J_{11} \geqslant 30$HRC；心部硬度要求 30 ~ 48HRC 时，材料淬透性 $J_{11} \geqslant 35$HRC。

高压气淬温度应比油淬温度要高，气淬压力、搅拌速度、淬火时间依据工件大小和畸变要求而定。对于 20CrMnTiH、20CrMoH、20CrNiMoH 等气淬温度应为 860 ~ 900°C。

气淬过程可以在不同阶段通过选择不同的冷却速度和冷却时间来实现对工件的分阶段冷却淬火，从而减小工件畸变。

需要二次淬火工件，气淬室可以作为缓冷室使用，用做缓冷时，应采用低压力气冷。

6.2.5.2　油淬火

淬火时，油淬室应充入高纯氮气，压强为 8×10^4Pa。淬火时，油槽应进行搅拌和循环冷却。

6.2.6　出炉及清洗

工件应冷到小于 100℃出炉，油淬工件出炉后应进行清洗除油。

7　质量控制与检验

7.1　质量控制

热处理质量控制应符合 JB/T 10175 和本标准的规定执行。

7.2　质量检验

真空渗碳淬火质量检验一般应在回火后进行，回火要求应符合 JB/T 3999 的规定。

7.2.1 外观

工件表面应光亮、无裂纹等缺陷。一般采用目视检查，必要时可采用体视显微镜或放大镜等确认。

7.2.2 硬度

表面硬度和心部硬度应符合图样技术要求，偏差要求应符合 JB/T 3999 的规定或供需双方的技术协议要求，硬度检验方法应符合 GB/T 230.1，GB/T 4340.1，JB/T 6050 的规定。

7.2.3 硬化层深度

硬化层深度应符合图样技术要求，偏差应符合 JB/T 3999 的规定或供需双方的技术协议要求，硬化层深度的检验方法应符合 GB/T 9450 的规定。

7.2.4 金相组织

金相组织检查应包括马氏体级别、表面残留奥氏体数量、表面非马氏体组织、碳化物形态分布及数量等。

金相组织检查应符合 GB/T 3480.5、QC/T 262 的规定，或按供需双方的技术协议要求。

7.2.5 畸变

畸变应符合产品过程控制中对畸变量的要求，工件畸变量使用相应的测量仪器或量检具进行检验。

7.2.6 其他

依据产品要求，做其他力学性能的检测。

检测方法采用相应专门设备和标准进行。

8 安全卫生和环保要求

8.1 安全卫生应符合 GB 15735、GB 5959.1、GB/T 5959.4 和 JB 8434 的规定。

8.2 高压气罐及管路按特种设备要求，由所在地技术质量监督局定期检定。

8.3 高压气罐与增压系统安装、管路连接、验收必须有相应资质的部门人员完成，并严格执行安检程序。

8.4 生产过程中突发停电、停水、停气等意外事故时的设备本身和现场管理，应有相应的安全应急措施，以保证人员、设备和工件的安全。

8.5 易燃易爆气体应存放在专用库房内，设置明显安全警示标志，并应妥善保管和安全使用。

附 录 A
(资料性附录)
富化气流量

富化气流量见表 A.1。

表 A.1 富化气流量

工件表面积/m^2	≤3	3~10	10~20
丙烷气流量/(L/h)	3000	4500	5700
乙炔气流量/(L/h)	1200	2000	2700

附 录 B
(资料性附录)
真空渗碳保温时间

依据渗碳温度和碳富化率，推荐真空渗碳保温时间，见表 B.1。

表 B.1　真空渗碳保温时间　（单位：min）

工艺温度/°C	920		940		960		980	
碳富化率/[mg/(cm^2·h)]	8		11		13		15	
深层深度(550HV1)/mm	渗碳时间	扩散时间	渗碳时间	扩散时间	渗碳时间	扩散时间	渗碳时间	扩散时间
0.30	7	26	6	21	4	12	4	9
0.60	15	94	11	80	10	60	8	40
0.90	22	240	17	163	15	120	12	68
1.20	29	420	24	320	20	230	17	140
1.50	37	697	30	530	25	400	22	260

注：碳富化率：真空渗碳炉在试验温度下达到热稳定状态时，通入富化气，工件单位面积上单位时间内的碳增量。碳富化率按式（B.1）计算：

$$F = \frac{w - w_0}{tS} \tag{1}$$

式中　F——工件表面碳富化率［mg/(cm^2·h)］；

w_0——工件渗碳前质量（mg）；

w——工件渗碳后质量（mg）；

t——富化气通入总时间（h）

S——工件表面积（cm^2）。

第十五节　钢件的气体渗氮

一、概论

渗氮作为一种化学热处理工艺，可显著提高钢铁零件的表面硬度、耐磨性、疲劳强度及耐蚀性。对于热作模具，还能提高其抗黏着、抗咬合性能，并能抵抗铝液对模具的溶解作用。渗氮工艺处理温度低，零件畸变小，因而在精密机床和精密机器零件、动力机械零件、石油化工机械零件以及工模具制造等领域获得了广泛的应用。

在几种渗氮工艺中，气体渗氮（旧称气体氮化）可以说是生产上应用最早，有着较大影响的工艺，在我国也已应用了几十年。从20世纪50年代上海机床厂成功地将其应用于精密机床重要零件的生产以来，经过数十年在许多制造领域的实践，特别是在机床制造业的应用，积累了丰富的生产应用经验，使该项工艺日趋成熟，产品质量稳步提高。但是，由于传统的气体渗氮工艺容易生成疏松多孔的化合物层，渗层脆性大，而且，工艺周期长，因而是一种价格昂贵的化学热处理工艺，极大地限制了这项工艺的发展和应用。

随着辉光离子渗氮技术的诞生（在我国从20世纪70年代初开始研究开发这项技术），由于离子渗氮在某些方面有显著的优点（较高的渗氮速度，良好的综合性能，节省能源及氨气消耗、不锈钢件可不用去除钝化膜等），不少零件的气体渗氮工艺被离子渗氮工艺所代替。但是，由于气体渗氮的设备简单，投资费用少，操作简便等优点，在许多工厂仍然作为主要生产工艺在应用。

20世纪80年代以来，随着计算机技术在热处理工艺上的应用，通过工艺参数的最优化设计，实现了氮势的自动控制，使气体渗氮这项传统工艺获得了新的生命力。由于氮势实现可控，化合物层的多孔性受到抑制，因而特别适合形状复杂，渗层深度要求较深的零件渗氮。气体渗氮在国内外重新引起重视并得到了发展。

我国在本标准正式颁布之前，还没有气体渗氮的国家标准。20世纪80年代末期制定了专业标准ZB J36 006—1988《钢的气体渗氮处理》。这期间不论是渗氮件材质、应用范围，还是工艺技术

本身都有较大的变化。从国际上来看，只有日本于1977年颁布了专门的气体渗氮国家标准JIS B 6915：1977，并于1993年重新修订增补软氮化（即氮碳共渗）的内容，颁布为JIS B 6915—1993《钢的渗氮及软氮化处理》。但是，JIS B 6915不论是从形式及内容，还是从工艺标准角度来看，显得不够具体实用，应用起来也不符合我国国情，只能作为参考。2000年，鉴于ZB J 36006—1988标准已贯彻了10多年，有了一定的应用基础，以该标准为基础，参考JIS B 6915：1993及有关资料，结合我国实际状况，对该标准进行了第1次修订。修订后的标准级别由原专业标准转换为推荐性国家标准，即GB/T 18177—2000《钢件的气体渗氮》。2000年版的标准从工艺角度出发，标准中许多方面有一定的拓展，使之更加接近生产，更能满足企业生产需要，这样也就更能促进标准的贯彻和应用。标准中的规定只是基本的规定，为了更好地贯彻应用本标准，生产企业可依据本标准，根据自己的实际情况，制定出更为具体本企业工艺标准。

2008年对GB/T 18177—2000进行了修订，颁布了GB/T 18177—2008。GB/T 18177—2008相对于GB/T 18177—2000，做了较大修改和补充，具体变化如下：

1）按标准编写要求，给出了完整的“规范性引用文件”的导语，增加了相关的规范性引用文件，并规范了“规范性引用文件”的写法。

2）将原标准“2 定义”改为“3 术语和定义”，重新给出了“引导语”，增加了“常规渗氮、短时渗氮、奥氏体渗氮、纳米化渗氮、氮势、临界氮势、氮势门槛值、可控渗氮、脉冲渗氮”术语和定义。删除了原标准中的“待渗氮件、渗氮件、氨分解率、渗氮层、畸变”5条术语。

3）增加了“设备防爆装置”、“废气处理装置”的要求（见标准中7.1.6、7.1.7）。

4）增加了“渗氮炉与输氨管道、氨瓶连接应保持密封性”要求（见标准中7.2.3）。

5）增加了“氮势的测量与控制”内容（见标准中7.4）。

6）重新修改并补充了原标准“渗氮处理”的内容（见标准中第8章）。

7）增加了“能源消耗要求”（见标准中第10章）。

8）删除了原标准的附录A。

9）增加了“不同气源进行渗氮时氮势与测量值之间的关系”（标准中附录A）、“氮势与氨分解率的关系”（标准中附录B）、“氮势门槛值曲线的测定方法。（标准中附录C）、“动态可控渗氮氮势控制曲线的数学表达式”（标准中附录D）。

二、标准应用说明

1）渗氮技术应用面不断扩大，除了原标准GB/T 18177—2000所针对的机床零件之外，如今渗氮已广泛用于动力机械（包括各种发动机、汽油机、柴油机零件及军工大马力发动机上的关键零件，如曲轴、缸套、活塞销、油泵、油嘴等），各种模具（包括热锻模、冲模、塑料模、橡胶模等），各种刀具（如高速钢刀具、硬质合金及钢结硬质合金刀具），轻工机械零件如塑料机械零件、缝纫机零件、印刷机械零件、烟草机械零件和纺织机械零件）等。各种不同的渗氮件对性能要求各不相同。钢种也很多，除了专用的38CrMoAl等渗氮钢之外，碳钢、低合金钢、中合金钢、高合金钢、高速钢和硬质合金等材料制造的工件的渗氮都已经应用于生产。原标准已无法覆盖应用面迅速扩大的渗氮技术。还有，原标准GB/T 18177—2000在附录A中只给出了一段渗氮、多段渗氮和抗蚀渗氮的工艺曲线，它是根据早年渗氮的生产经验制定的，考虑到目前气体渗氮的应用范围已大为扩展，不同钢件的要求与渗氮工艺各具特色，且差异很大，因此在修订时将原标准的附录A删除，而在正文中说明不同渗氮工艺的特征（包括一段渗氮、多段渗氮、抗蚀渗氮）。

2）在渗氮工艺方面：20世纪70年代，英国的T. Bell成功地将可控渗氮应用于航空发动机曲轴，对气体渗氮来说是一个重要的转折点。可控渗氮至今已是一个成熟的工艺，并且氮势控制原理

的研究，促使渗氮工艺方面有许多概念的更新。我国已在20世纪80年代开始在渗氮热力学和物质传递模型研究的基础上，先后开发了以氮势门槛值为依据的分段可控渗氮和动态可控渗氮工艺，已成功应用于生产，显著提高了产品质量。因此，可控渗氮的相关的技术都有必要反映在国家标准中。在本标准中包含了氮势的测量与控制、氮势门槛值概念及其测定方法、分段可控渗氮与动态可控渗氮。T. Bell首先提出氮势的概念，并以r作为氮势的符号$r=\frac{p_{NH_3}}{p_{H_2}^{1.5}}$。考虑到我国多数作者用$N_p$表示氮势，因此，在本标准中采用$N_p$作为氮势的符号。$r$与$N_p$只是符号不同，二者的物理意义及表达式是一致的。

3）借鉴氮碳共渗成功的经验发展起来的短时渗氮工艺也已应用于生产。脉冲渗氮、奥氏体渗氮也已经在生产上推广应用。这些新技术新工艺都充实到了本标准中。

4）原标准中渗氮操作适用于井式渗氮炉，目前罩式炉、密封箱式炉、推杆式炉和连续式作业炉等已应用于气体渗氮处理。因此，对原标准中有关渗氮操作中的装炉、升温、冷却等内容都做了必要的修改。

5）从环境保护的理念出发，本标准中增加了废气排放及出炉前排除剩余氨气的规定。取消了原标准中要求渗氮设备配置干燥器的内容。这是因为近30年来的生产实践（包括军工产品的生产实践）证明，取消干燥器不影响产品质量，而且取消干燥还可避免在更换干燥剂时对人体的伤害以及对环境造成的污染。

6）原标准中一段渗氮中第一阶段氨分解率规定为18%～25%，新标准更改为8%～35%，这是因为大量生产实践经验证明，第一阶段氨分解率30%～35%足以保证渗氮层的硬度和深度，并且能降低脆性，氨的消耗量可降低3倍左右，同时渗氮罐老化明显减缓。因此，从技术上讲，一段渗氮第一阶段氨分解率25%～35%更为合理。但考虑到精密机床零件渗氮仍有沿用氨分解率为18%～25%的工艺，所以在本标准中将第一阶段氨分解率范围定为18%～35%。

7）为了保证渗氮质量，将炉温均匀性由原标准中的±10°C修改为±5°C。

8）若要了解本标准附录中给出的公式的推导过程，可以参考由潘健生、胡明娟主编的《热处理工艺学》（高等教育出版社出版）。（上海交通大学胡明娟供稿）

三、标准内容（GB/T 18177—2008）

钢件的气体渗氮

1　范围

本标准规定了钢件在含氨气氛中加热的气体渗氮工艺、设备、检验、能源消耗及安全卫生要求等。

本标准适用于碳素钢、合金结构钢、合金工具钢、不锈钢及耐热钢等的气体渗氮。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用本标准。

GB 536—1988　液体无水氨

GB/T 699　优质碳素结构钢

GB/T 700　碳素结构钢（GB/T 700—2006，ISO 630：1995，NEQ）

GB/T 1182　产品几何技术规范（GPS）　几何公差　形状、方向、位置和跳动公差标注（GB/

T 1182—2008，ISO 1101：2004，IDT）

GB/T 1220　不锈钢棒

GB/T 1221　耐热钢棒

GB/T 1299　合金工具钢

GB/T 3077　合金结构钢

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 9943　高速工具钢

GB/T 10125　人造气氛腐蚀试验　盐雾试验（GB/T 10125—1997，eqv ISO 9227：1990）

GB/T 11354—2005　钢铁零件　渗氮层深度测定和金相组织检验

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 15822.2　无损检测　磁粉检测　第2部分：检测介质（GB/T 15822.2—2005，ISO 9934-2：2002，IDT）

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

GB/T 19944　热处理生产燃烧消耗计算和测定方法

JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度测试通则

JB/T 9199　防渗涂料　技术条件

JB/T 9218　无损检测　渗透检测（JB/T 9218—2007，EN 571-1：1997，MOD）

JB/T 10175　热处理质量控制要求

3　术语和定义

GB/T 7232 中确立以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　常规渗氮　conventional nitriding

从20世纪30年代开始发展并沿用至今的气体渗氮工艺。

3.2　抗蚀渗氮　anti-corrosion nitriding

为提高钢件的耐腐蚀性能而进行的渗氮工艺。

3.3　短时渗氮　short-time nitriding

渗氮时间在几十分钟至几小时之间选择的气体渗氮工艺。

3.4　奥氏体渗氮　austenitic nitriding

在介于 Fe-N 系的共析 A_1 点和 Fe-C 系的共析 A_1 点之间的温度范围内进行渗氮的工艺。

3.5　纳米化渗氮　nanocrystallization nitriding

预先使工件表面层晶粒细化成纳米结构然后渗氮的方法。

3.6　氮势　nitrogen potential

炉气中的氨分压与氢分压的1.5次方的比值称为氮势，在一定温度下氮势与氮活度成正比，它是炉气渗氮能力热力学的度量。可用符号 N_p（或 r）表示：$N_p = p_{NH_3}/p_{H_2}^{1.5}$。

3.7　临界氮势　critcal nitrogen potential

在热力学平衡条件下，在钢件表面形成化合物层所需的最低氮势，临界氮势与钢的成分及渗氮温度有关。

3.8　氮势门槛值　nitrogen potential threshold

在实际生产条件下，对应于一定的渗氮时间、在钢件表面形成化合物层所需的最低氮势。渗氮时间愈长，氮势门槛值愈低。

3.9　可控渗氮　controlled nitriding

为了改善渗氮层脆性，通过调节炉气的氮势，控制渗氮件表面氮浓度和相结构的气体渗氮工艺。

3.10　脉冲渗氮　pulse nitriding

炉压不断脉冲式变化的气体渗氮方法。

4　工艺分类代号

气体渗氮的工艺分类及代号应符合 GB/T 12603 的规定。气体渗氮工艺分类代号为 53301。

5　工件

5.1　材料

常用钢种应符合相应的标准要求见表 1。

5.2　外观、形状及尺寸

根据表 2 的规定，记录待渗氮件的外观、形状及尺寸，并予以保存。

表 1　常用的渗氮钢种

标　　准	牌　　号	备　　注
GB/T 700《碳素结构钢》	Q235	适用于短时渗氮、抗蚀渗氮和奥氏体渗氮
GB/T 699《优质碳素结构钢》	08、08Al、10、15、20、20Mn、35、40、45、50	
GB/T 3077《合金结构钢》	18Cr2Ni4WA、20Cr、20CrMnMo、20CrMnTi、20Cr2Ni4、25Cr2MoVA、25Cr2Ni4WA、30CrMnSiA、35CrMo、38CrMoAlA、40Cr、40CrMnMo、40CrNiMoA、42CrMo、50CrVA	可根据不同的要求选择气体渗氮方法
GB/T 1299《合金工具钢》	Cr12、Cr12MoV、3Cr2W8V、5CrMnMo、5CrNiMo、4Cr5MoSiV1、4Cr5W2VSi	
GB/T 9943《高速工具钢棒技术条件》	W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2	适用于短时渗氮
GB/T 1220《不锈钢棒》	12Cr13、20Cr13、30Cr13、95Cr18	渗氮后耐磨性提高，耐蚀性下降
GB/T 1221《耐热钢棒》	14Cr11MoV、42Cr9Si2、40Cr10Si2Mo、45Cr14Ni14W2Mo	

表 2　待渗氮件外观等状态

序号	项　　目	备　　注
1	外观	不允许有裂纹、污渍、锈斑、黑皮等
2	质量①	以 kg 为计量单位
3	工件的形状① 特殊形状 壁厚差异 孔的形状与位置 零件图纸编号	用简图表示
4	尺寸及精度① 尺寸 需渗氮部分加工余量 整体的加工余量 需渗氮部分的表面粗糙度 尺寸精度 形状公差② 位置公差② 定位公差②	用简图表示 直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度、面轮廓度 平行度、垂直度、倾斜度 同轴度、对称度、位置度、圆跳动、全跳动

① 在不影响加工的情况下，可以部分或全部省略。

② 各几何公差的定义应符合 GB/T 1182 的规定。

5.3　待渗氮件的验收

对待渗氮件的钢种、处理前的状态、外观、形状及尺寸按5.1、5.2规定执行。如有必要，可采用钢的火花试验方法鉴别钢种或按GB/T 15822.2、JB/T 9218规定进行探伤检验。

6　预备热处理

6.1　应根据工件对基体材料性能的要求进行待渗氮件预备热处理。一般采用调质或正火处理。38CrMoAl钢必须采用调质并在调质淬火时保证工件表面层的奥氏体转变为马氏体组织。

6.2　易畸变的工件，在调质和粗加工后还应施行去应力退火。其温度应比调质的高温回火低，比渗氮高。

6.3　工模具钢一般采用淬火与回火处理。不锈钢、耐热钢除通常可采用调质处理外，奥氏体不锈钢还可采用固溶处理。

6.4　工件预备热处理后的金相组织、硬度及畸变应符合技术要求和工艺规定。38CrMoAl钢调质后表面5mm内游离铁素体量不应超过5%（面积分数，相当于GB/T 11354—2005的1~2级），并且不允许含有粒状贝氏体或上贝氏体的回火组织或珠光体组织。

6.5　工件表面不应有裂纹、脱碳、贫碳、划痕、磕碰、污渍等缺陷。

6.6　工件校直后应施行去应力退火。

7　气体渗氮设备及工艺材料

7.1　渗氮炉

7.1.1　炉子有效加热区按GB/T 9452规定测定，其实际温度偏差值（指炉膛内有效装料区内）不应超过±5°C。

7.1.2　炉膛内部各种材料（指与气氛接触的）不应对渗氮气氛的稳定产生有害影响。

7.1.3　炉膛应有良好的密封。炉内气氛不得有泄漏现象，应保证炉气顺畅流过渗氮件。

7.1.4　炉子应设有氨分解率测定装置。氨分解率应能根据工艺要求进行调整。

7.1.5　控温系统应保证炉子温度符合工艺要求。

7.1.6　密封箱式渗氮炉和推料盘式渗氮炉必须有可靠的防爆装置。

7.1.7　渗氮炉必须有完善的废气处理装置，不允许将含有氨的废气直接向大气中排放或直接点燃，可以将废气通过温度达750°C以上并装有触媒的氨分解器使废气中的氨充分分解之后再排放，或将废气通入水中使氨吸收之后排放，吸氨的水容器中的废水不得直接排放，应加入酸类进行中和处理，并对中和后产生的氨盐做回收处理。

7.2　氨气

7.2.1　渗氮用氨气，其品质应符合GB 536—1988一级品的要求。

7.2.2　液氨应灌装在符合国家标准规定的钢瓶（罐）内。液氨瓶应安放于单独的房间内，房间严禁烟火，并防止氨瓶剧烈撞击和避免日光暴晒。液氨及液氨瓶应有生产厂的质量保证单。

7.2.3　渗氮炉与输氨管道、氨瓶的连接应保证密封性。

7.3　测温与控温

7.3.1　应根据气体渗氮工艺要求，配置符合JB/T 10175所要求的控温系统。

7.3.2　应配备跟踪显示加热温度的温度记录装置。

7.3.3　在工艺要求的范围内，补偿显示仪表的读数之后，所采用的电热温控系统显示器的温度指示综合误差应为±1.5°C，并应有超温自动报警功能。

7.4　氮势的测量与控制

7.4.1　氮势（N_p）可以通过测定炉气成分，按照 $N_p = p_{NH_3}/p_{H_2}^{1.5}$ 来换算。式中氨分压（p_{NH_3}）在1atm下等于氨体积百分数，可用氨红外仪测定；p_{H_2} 在1atm下等于氢体积百分数，可用热导式仪表

或氢探头等仪器测定。

7.4.2 氮势与测量值的关系与所采用的气源有关，计算公式见附录 A。

7.4.3 用氨 + 氨分解气为气源进行渗氮时，可用氨分压测定仪表或氢分压测试仪表或氨分解率自动测试仪进行反馈调节气体加入量，实现氮势自动控制；用其他气源进行渗氮时，应根据氨分压与氢分压两种仪表同时测量结果进行反馈，以实现氮势自动控制。氮势与氨分解率的关系参见附录 B。

7.5 设备的维护保养

应制订适当的设备操作规程和维护保养制度，并妥善保管有关记录。

8 渗氮处理

8.1 处理前状态

根据表 3 的规定记录待渗氮件的状态，并保存相关记录。

表 3 待渗氮件的状态记录

序号	项目	备注
1	钢材数据 牌号 化学成分① 炼钢炉号① 硬度及其他力学性能① 金相组织	 晶粒度、脱碳层、非金属夹杂物、显微组织
2	毛坯制造方法 铸造 锻造 轧制 挤压	 注明冷、热锻，必要时注明锻造比 注明冷、热轧 注明冷、热挤压
3	处理前的加工方法 冲压 拉拔 滚轧 焊接	 注明冷、热冲压 注明冷、热拉拔 注明冷、热滚轧 注明焊接部位及焊接方法 前道工序已生成表面膜时，应注明其种类与成分
4	预备热处理 正火 完全退火 球化退火 去应力退火 淬火回火（包括调质） 固溶处理时效 时效	 需要时注明加热温度、保温时间及冷却方法 需注明去应力在工序流程中的安排，去应力之后的加工余量
5	渗氮前表面精加工状态 切削方法及其条件 磨削方法及其条件 矫正及其程度 其他加工或表面处理方法及其条件	 包括切削剂的种类 包括磨削剂的种类 注明冷、热矫正与去应力的程序

① 在不影响加工的情况下，可以部分或全部省略。

8.2 防渗

在机械零件设计时应避免采用局部渗氮。不能有渗氮层的部位，可按下述方法之一进行防渗处理：

a）预留 2 倍以上渗氮层深度的加工余量；

b）镀 0.003～0.015mm 的锡层；

c）镀 0.02mm 以上的无孔隙铜层；

d）镀 0.02～0.04mm 的镍层；

e）刷涂防渗涂料应符合 JB/T 9199 的规定。

8.3 处理前的表面要求

8.3.1 工件表面粗糙度应符合图样要求，表面应洁净，不许有油垢、污物、锈斑、划痕、磕碰、污渍等，并不应有尖锐棱角。

8.3.2 工件加工余量应符合工艺规定。通常结构件渗氮表面的磨削余量单边应不大于 0.05mm。

8.3.3 不锈钢件可采用喷细砂去除钝化膜（也可用其他方法）。

8.3.4 待渗氮件允许预先进行滚压、超声喷丸或其他冷塑性形变加工后再进行渗氮处理。

8.4 试样

8.4.1 除小件外，通常每炉待渗氮件应带有随炉试样。试样应与待渗氮件的钢号、预备热处理工艺和表面粗糙度一致。试样规格一般为 ϕ20～ϕ30mm；厚度为 4～10mm。

8.4.2 重要工件的试样应在待渗氮件上截取。

8.5 装炉

8.5.1 检验装炉的工夹具，发现脆化、开裂或形状不符合要求等问题应及时修理或更换。

8.5.2 按工艺要求将待渗氮件平稳、牢靠地装在工夹具上。

8.5.3 将待渗氮件平稳牢固地装在有效加热区内，相互保持适当间隔，保证气氛流通和温度均匀。

8.5.4 根据炉膛大小，每炉应在不同位置吊放有编号的试样 3～10 件。

8.6 渗氮工艺

渗氮工艺方法、特点及其适用范围见表 4。

表 4 渗碳工艺方法、特点及其适用范围

渗氮工艺		工艺方法			工艺特点及适用范围
		渗氮时间/h	渗氮温度/°C	氨分解率(%)	
常规渗氮	一段渗氮	20～100	490～520	渗氮时间的前 1/4～1/3:20～35	硬度要求高,畸变小的工件
				渗氮时间的后 2/3～3/4:35～50	
	二段渗氮	15～60	第 1 阶段 500～510	占总渗氮时间的 1/3～1/2:20～30	硬度要求略低,渗层较深,不易畸变的工件
			第 2 阶段 550～560	占总渗氮时间的 1/2～2/3:40～60	
	三段渗氮	30～50	第 1 阶段 500～510	20～30	硬度要求较高,不易畸变的工件
			第 2 阶段 550～560	40～60	
			第 3 阶段 520～530	30～40	
短时渗氮		2～4	500～580 常用为 560～580	35～65	高速工具钢短时渗氮时间一般为 20～40min,采用较高的氨分解率,避免在高速钢渗氮层表面出现化合物层 除了高速钢之外,短时渗氮所形成的化合物层很薄,所以脆性不太大,可以带着化合物层服役,使耐磨性大幅度提高,并降低摩擦系数 各种碳钢、合金渗氮钢、合金结构钢、模具钢、铸铁都可以采用短时渗氮处理。具有很高的耐磨、疲劳强度、抗擦伤、抗咬合性能和耐蚀性等特点,保留了铁素体氮碳共渗的优点,并从根源上消除了后者炉气中含极毒 HCN 气体的缺点 凡是以磨损或咬合为主要失效方式,而承受的接触应力不高的工件,用短时渗氮替代常规渗氮,节能效果明显

（续）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">渗氮工艺</th><th colspan="3">工 艺 方 法</th><th rowspan="2">工艺特点及适用范围</th></tr>
<tr><th>渗氮时间/h</th><th>渗氮温度/°C</th><th>氨分解率(%)</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">奥氏体渗氮</td><td>2～4</td><td>600～700</td><td rowspan="2">60～80</td><td rowspan="2">在奥氏体渗氮温度下形成的渗层组织是ε相化合物层、奥氏体层和扩散层。淬火至室温为化合物层、残留奥氏体层、淬火马氏体层、扩散层。
以提高耐蚀性为主的工件经奥氏体渗氮后不必进行回火处理。
奥氏体渗氮油淬后经过180～200°C回火，残留奥氏体未发生转变，保持很高韧性和塑性，适用于对韧性要求很高，以及在装配或使用过程中需承受一定程度塑性形变的渗氮件。
奥氏体渗氮经过220～250°C回火，残留奥氏体发生分解，硬度提高到950HV以上，化合物层中的ε相也发生时效，使硬度提高到1000HV以上，适合于耐磨性要求很高的渗氮件。
奥氏体渗氮的耐蚀性优于抗蚀渗氮</td></tr>
<tr><td>典型工艺为2</td><td>650</td></tr>
<tr><td rowspan="4">可控渗氮</td><td>氮势定值控制可控渗氮</td><td colspan="3">整个渗氮过程中氮势控制不变，根据氮势门槛值曲线的测定方法(见附录C)选择氮势控制值，控制表面化合物层的厚度。分为：无化合物可控渗氮、单相γ′化合物可控渗氮</td><td>无化合物层的可控渗氮的渗层表面不形成化合物层，渗层的脆性很小，渗氮速度慢
氮势控制的设定值略高于氮势门槛值。获得单相γ′化合物层或厚度为1～3μm的薄化合物层。脆性明显小于常规渗氮，渗氮速度慢</td></tr>
<tr><td rowspan="2">氮势分段控制可控渗氮</td><td colspan="3">以氮势门槛值曲线为依据分段控制。在渗氮初期采用高氮势，由氮势门槛值曲线判断在高氮势下开始出现化合物层的时间，并在此时间之前将氮势降低到与渗氮总时间对应的氮势门槛值</td><td rowspan="2">如每一段的保温时间略短于氮势门槛值曲线所对应的时间，则可实现无白层可控渗氮。如适当延长高氮势和中氮势阶段的时间，使工艺曲线超过氮势门槛值曲线，则可实现单相γ′可控渗氮或带有薄化合物层的可控渗氮。
分段控制可控渗氮，渗氮速度高于定值控制可控渗氮，略低于常规渗氮</td></tr>
<tr><td colspan="3">中间增加一段中等氮势的分段控制。在渗氮初期采用高氮势，在即将出现白层之前降至中氮势，待到又将出现白层之前，再将氮势降到与渗氮时间相对应的氮势门槛值</td></tr>
<tr><td>动态可控渗氮</td><td colspan="3">动态可控渗氮法将工艺过程分为二个阶段，在第一阶段尽可能提高气相氮势，一旦表面的氮浓度达到预先的设定值，立即转入第二阶段，令氮势按照“动态氮势控制曲线”连续下降，使表面氮浓度不再升高也不下降。动态氮势控制曲线的数学表达式见附录D</td><td>具有良好的耐磨性</td></tr>
<tr><td colspan="2">脉冲渗氮</td><td colspan="3">渗氮温度和渗氮时间与短时渗氮类似。采用反复充气和抽气的脉冲方式，使炉压在一定幅度范围内交替上升和下降</td><td>脉冲渗氮是在具备抽真空功能的渗氮炉中进行。适用于有盲孔、细孔、狭缝的工件以及用散装方式装炉的小零件，改善了渗氮层均匀性</td></tr>
<tr><td colspan="2">抗蚀渗氮</td><td colspan="3">在600～700°C进行短时间的一段渗氮</td><td>以获得一定深度的致密的ε相层(渗氮白亮层)</td></tr>
</table>

（续）

渗氮工艺	工 艺 方 法			工艺特点及适用范围
	渗氮时间/h	渗氮温度/°C	氨分解率(%)	
表面纳米化渗氮	用超声喷丸(无向强力喷丸)、机械研磨、多方向滚压等方法,使待渗氮件表面经受多方向反复塑性形变,将表面层晶粒细化至纳米尺度,然后进行渗氮			可以明显提高渗氮速度,降低渗氮温度和提高渗氮层硬度

8.7 渗氮操作

8.7.1 待渗氮件与试样装炉后，保证炉子密封，接通氨气管道，检查管路是否畅通和有无泄漏。

8.7.2 检查并调整温度仪表、液氨瓶、流量计、压力计、氨分解率测定仪、氮势控制控制仪、电源系统以及计算机控制系统等是否处于正常状态。

8.7.3 上述检查工作完成后，即可按工艺要求严格调节和控制升温速度、保温温度、保温时间以及氨分解率（氮势）等工艺参数。

8.7.4 细长、薄壁、不对称和截面尺寸急剧变化等形状易畸变的工件应适当控制升温速度，可采用阶段升温方式，在460～470℃保温一定时间，待炉内工件温度均匀后再升至渗氮温度。

8.7.5 向炉膛内通入氨气或氮气以充分排出炉膛内空气。

8.7.6 整个渗氮过程应始终保持炉膛密封性，渗氮后的冷却和出炉因具体情况而异，易畸变的工件需缓冷，不易畸变的工件对冷却速度不必严格要求，而着重考虑生产效率，工件出炉前应排除炉内剩余氨气，再打开炉门。短时渗氮一般采用油冷，奥氏体渗氮必须油淬或等温淬火。

8.7.7 渗氮过程中若发生停电事故，当炉温不低于400℃时应继续向炉膛通入氨气。恢复供电后，再升到工艺规定温度。

8.7.8 渗氮件应尽量避免校正。如必须校正，随后应立即进行去应力退火及探伤。渗氮后畸变超差的工件，需热校正。校直的加热温度应低于渗氮温度。重要零件渗氮后一段不应校直。

8.7.9 为保持炉膛内氨分解率的稳定，炉膛、炉内构件与工夹具长期使用后，应定期施行退氮处理。退氮可在停炉后施行，空炉加热至600～650℃，空烧4～6h。

9 渗氮件的品质检验

9.1 检验内容及要求

9.1.1 表面不应有裂纹、剥落及肉眼可见的疏松等缺陷。

9.1.2 在硬度、层深和脆性等各项要求均合格的前提下，渗氮件表面允许存在氧化色。

9.1.3 渗氮件应达到工艺要求的表面硬度。不同表面硬度偏差不允许超过表5的规定。

表5 表面硬度偏差的允许值

维氏硬度偏差 HV			
单 件		同 批	
<600	>600	<600	>600
45	60	70	100

注：1. 同批是指用相同钢材、经相同预备热处理并在同一炉次渗氮处理后的一组工件。
2. 局部渗氮件的测定位置不应在渗氮边界附近，其位置距渗氮边界应不小于1个渗层深度的距离。

9.1.4 渗氮件应达到工艺要求的渗氮层深度，其深度偏差应符合超过表6的规定。抗蚀渗氮件ε相致密层深度应不小于0.01mm。

9.1.5　渗氮处理后的金相组织应符合 GB/T 11354—2005 的有关规定。

9.1.6　抗蚀渗氮件需经腐蚀试验，应得到符合要求的耐蚀性。

表 6　渗氮层深度偏差的允许值

渗氮层深度/mm	深度偏差/mm	
	单　件	同　批
<0.3	0.05	0.10
0.3~0.6	0.10	0.15
>0.6	0.15	0.20

注：1. 同批是指用相同钢材、经相同预备热处理并在同一炉次渗氮处理后的一组工件。

2. 局部渗氮件的测定位置不应在渗氮区边界附近，其位置距渗氮边界应不小于 2 个渗层深度的距离。

9.2　检验方法

9.2.1　裂纹、发裂等外观检验可用肉眼判别，也可采用磁粉或渗透探伤等方法鉴别。后者应符合 GB/T 15822.2、JB/T 9218 标准的规定。

9.2.2　表面硬度检验按照 JB/T 6050 规定执行。

9.2.3　渗层脆性检验、渗氮层疏松检验、渗氮扩散层中氮化物检验、渗氮层测量深度和金相组织检验均按照 GB/T 11354—2005 的规定执行。

9.2.4　抗蚀渗氮的耐蚀性检验按 GB/T 10125 规定执行，也可采用下列两种方法中的一种检验抗蚀渗氮件的耐蚀性：

a）将试样浸入 6% ~10% $CuSO_4$ 水溶液中或将上述溶液滴在试样或被测工件表面上，持续 1 ~ 2min 后，无铜的沉积为合格。

b）取 10g$K_3Fe(CN)_6$（赤血盐）、20gNaCl 溶于 1L 蒸馏水中，将渗氮试件浸入上述溶液 1 ~ 2min 后，无蓝色印迹为合格。

10　能源消耗要求

气体渗氮的能源消耗定额应符合 GB/T 17358 及 GB/T 19944 的有关规定。

11　安全卫生要求

气体渗氮过程的安全卫生要求应符合 GB 15735 的有关规定。

12　产品报告单

12.1　根据要求可按每批或每炉开具报告单。

12.2　产品报告单内容：

a）批号或炉号；

b）工艺类型或代号；

c）工件的名称和图号；

d）工件的材料牌号；

e）单件质量及数量；

f）加工单位名称；

g）品质检验结果；

h）操作者姓名或代号；

i）品质检验员姓名或代号；

j）报告日期。

附　录　A

（规范性附录）

不同气源进行渗氮时氮势与测量值之间的关系

A.1　纯氨或氨＋氨分解气

纯氨或氨＋氨分解气进行渗氮时氮势 N_p 的计算公式见式（A.1）～式（A.4）。

$$N_p = p_{NH_3} / p_{H_2}^{1.5} \quad (A.1)$$

式中　p_{NH_3}——炉气中氨分压；

p_{H_2}——炉气中氢分压。

或

$$N_p = \frac{1 - V}{(0.75V)^{1.5}} \quad (A.2)$$

式中　V——氨分解率（可用氨分解测试仪测定），$V = 1 - p_{NH_3}$。

或

$$N_p = \frac{1 - \frac{4}{3}p_{H_2}}{p_{H_2}^{1.5}} \quad (A.3)$$

或

$$N_p = \frac{p_{NH_3}}{[0.75(1 - p_{NH_3})]^{1.5}} \quad (A.4)$$

A.2　氨＋氮混合气体

氨＋氮混合气体进行渗氮时氮势计算公式见式（A.5）～式（A.7），设原料气中 NH_3 的摩尔数为 X。

$$N_p = p_{NH_3}\left[\frac{1 + X}{1.5(X - p_{NH_3})}\right]^{1.5} \quad (A.5)$$

或

$$N_p = (1 - V)\left[\frac{1 + X}{1.5(X - 1 + V)}\right]^{1.5} \quad (A.6)$$

或

$$N_p = \frac{1.5X - (1 + X)p_{H_2}}{1.5p_{H_2}^{1.5}} \quad (A.7)$$

附　录　B

（资料性附录）

氮势与氨分解率的关系

B.1　氨或氨气＋氨分解气

氨分解率的数学表达式见（B.1），氮势的数学表达式见式（B.2），纯氨或氨＋氨分解气渗氮时氮势与氨分解率对照见表 B.1。

$$V = 1 - p_{NH_3} \quad (B.1)$$

$$N_p = 1 - V/(0.75V)^{1.5} \quad (B.2)$$

表 B.1　纯氨或氨＋氨分解气渗氮时氮势与氨分解率对照表

序　号	V	$N_p = 1 - V/(0.75V)^{1.5}$	序　号	V	$N_p = 1 - V/(0.75V)^{1.5}$
1	0.1	43.8178	6	0.6	1.3251
2	0.2	13.7706	7	0.7	0.7887
3	0.3	6.5588	8	0.8	0.4303
4	0.4	3.6515	9	0.9	0.1803
5	0.5	2.1773	10	0.95	0.0831

B.2　氨+氮混合气体

氨+氮混合气体渗氮时氮势数学表达式见式（B.3），氨+氮混合气体渗氮时氮势与氨分解率对照见表B.2。

$$N_p = (1-V)\left[\frac{(1+x)}{1.5(x-1+V)}\right]^{1.5} \quad \text{(B.3)}$$

式中　x——通入气体中 NH_3 的百分含量；

V——氨分解率。

注：上式成立的前提是 $(x-1+V)>0$，否则无法得到实数解。

表B.2　氨+氮混合气体渗氮时氮势与氨分解率对照表

NH_3（%）	氨分解率 V							
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2								2.2627
0.3							5.1028	0.9021
0.4						8.5541	2.0162	0.5487
0.5					12.6491	3.3541	1.2172	0.3953
0.6				17.4186	4.9267	2.0113	0.8709	0.3116
0.7			22.8922	6.7447	2.9371	1.4308	0.6825	0.2596
0.8		29.0985	8.8182	4.0000	2.0785	1.1154	0.5657	0.2245
0.9	36.0648	11.1570	5.2055	2.8176	1.6129	0.9202	0.4868	0.1992

附　录　C

（规范性附录）

氮势门槛值曲线的测定方法

C.1　表示氮势门槛值与渗氮时间关系的曲线称为氮势门槛值曲线，其数学表达式见式（C.1）。

$$N_{p(t)} = \frac{N_{p(c)}}{1-\exp\left(\frac{\beta^2 t}{D}\right)\mathrm{erfc}\left(\frac{\beta\sqrt{t}}{D}\right)} \quad \text{(C.1)}$$

式中　$N_{p(t)}$——与渗氮时间 t 相对应的氮势门槛值；

$N_{p(c)}$——监界氮势，是钢的成分和渗氮温度的函数；

β——工件表面氮的物质传递系数；

D——氮在钢中的扩散系数（按活度计算的扩散系数）。

C.2　氮势门槛值测定示例

令 $\left(\frac{\beta}{\sqrt{D}}\right)=B$，则式（C.1）可简写为：$N_{p(t)} = \frac{N_{p(c)}}{1-\exp(B^2 t)\mathrm{erfc}(B\sqrt{t})}$。用试验方法测出二个不同时间 t_1 和 t_2 的氮势门槛值 $N_{p(t_1)}$ 和 $N_{p(t_2)}$，分别代入上式，得式（C.2）、式（C.3）。解联立式（C.2）、式（C.3）即可求得 $N_{p(c)}$ 和 B 的值，并可用下式计算出该钢种在同一渗氮温度下对应于不同渗氮时间的氮势门槛值。

$$N_{p(t_1)} = \frac{N_{p(c)}}{1-\exp(B^2 t_2)\mathrm{erfc}(B\sqrt{t_1})} \quad \text{(C.2)}$$

$$N_{p(t_2)} = \frac{N_{p(c)}}{1-\exp(B^2 t_2)\mathrm{erfc}(B\sqrt{t_2})} \quad \text{(C.3)}$$

附　录　D

（规范性附录）

动态可控渗氮氮势控制曲线的数学表达式

D.1　动态氮势控制曲线的数学表达式见（D.1）。

$$N_{p(g)}=N_{p(D)}\left(1+\frac{1}{\sqrt{\pi}\left(\frac{\beta\sqrt{t}}{\sqrt{D}}\right)}\right) \tag{D.1}$$

式中　$N_{p(g)}$——气相氮势调节值；

$N_{p(D)}$——目标氮势。

D.2　$(\beta/\sqrt{D})$可以从同一钢种的氮势门槛值曲线求得，目标氮势取临界氮势，可实现无白层可控渗氮；目标氮势高于γ'相的临界氮势而低于ε相的临界氮势，可实现单相γ'可控渗氮；目标氮势略高于ε相临界氮势，可实现薄化合物层的可控渗氮。单相γ'可控渗氮与薄化合物层可控渗氮的脆性虽略大于无白层可控渗氮，但比常规渗氮低得多，可以直接投入使用，并且具有优异的耐磨性。

第十六节　钢铁件的离子渗氮

一、概论

JB/T 6956《钢铁件的离子渗氮》修订版本的编写依据是根据近年来我国在离子渗氮设备、工艺和生产上的发展和进步，参照 JB/T 6956—1993《离子渗氮》的条款进行修改，补充或删除。此外，在标准结构上做了相应调整，例如：由于 JB/T 2897《辉光离子氮化炉　基本技术条件》已被废止，故将其中和工艺相关的一些设备技术参数及设备型号表示方法充实到本标准中，并将“温度、压力和流量的测量和检定”也放入标准中设备一章中；把预备热处理和待渗氮件的验收放入标准中待渗氮件一章；把试样的条款放在标准中渗氮处理一章中。

离子渗氮在我国已走过四十余年的发展历史，研制各种离子渗氮设备几千台，分布在全国各省市，生产应用面很广，处理零件品种繁多，离子渗氮技术已有长足进步。例如：脉冲直流电源发展迅速，已基本取代了老式直流电源。采用微机控制的全自动设备和带有外加热辅助电源的离子渗氮设备也能生产应用，活性屏离子渗氮设备正处于试验阶段；一些专业的离子渗氮企业已掌握多种零件同装一炉并达到温度基本均匀的技术。

1992 年美国航空航天材料标准中出现 AMS2759/8A《lon Nitriding》专业标准，于 2007 年修订，和我国的离子氮化的专业标准时期相同，水平相当。例如，设备的极限真空度和压升率的规定和我国在同一水平；测温用 4 支电热偶测中间温度和极限温度，温差不超过 50°F（28°C），试样应放在极限温度和中间温度处等。

本标准制定于 1984 年，第 1 次修订于 1993 年。经过十余年的实施，我国的离子渗氮不断发展，离子渗氮技术广泛应用于生产实践。因此，于 2007 年重新修订并颁布了 JB/T 6956—2007。

本标准有利于技术人员和操作人员正确掌握离子渗氮的工艺及操作，统一技术参数的测定及质量检验，对提高渗氮工件质量的稳定性，提高离子渗氮工艺的技术经济效益将起到良好作用。

二、标准应用说明

本标准是各单位进行离子渗氮时必须达到的基本要求，为了更好地应用和贯彻本标准，下面按

标准章节条款的次序，对必要的和重要的内容进行分析介绍，以便于正确理解和贯彻执行。

1. 范围

本标准的使用范围只限于钢铁件的离子渗氮处理，删除了旧标准中钛合金和铁基粉末冶金材料的内容。因为钛合金的离子渗氮温度在 800 ~ 950°C，不适合在额定温度为 650°C 的离子渗氮炉内批量生产，故予以取消；而铁基粉末冶金工件有用离子渗氮处理的实例，但缺少系统的实验和生产数据支持，因此，只能作为一个课题，等条件具备后，在下次标准修订时再行补充。离子氮碳共渗没有放入本标准，是考虑到两个内容放在一起太过杂乱，不如将来单独制定离子氮碳共渗的标准。因此，把标准名称由《离子渗氮》改为《钢铁件的离子渗氮》。

2. 规范性引用文件

凡是和本标准有关的文件全都列出，旧标准中引用的 JB　2897《辉光离子氮化炉基本技术条件》已经废止。

3. 术语和定义

（1）凡 GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》中已包括的术语，如离子渗氮、极限真空度、压升率，而又没有新的含义赋予的术语可省去。

（2）取消稳压罐和模拟试件两术语。

1）稳压罐：因为现在生产的氨气减压阀质量稳定，完全可以胜任稳定输出进气压力的任务，一般生产条件下，不用稳压罐也可以满足使用要求。本标准 5. 2. 3 为“在进气、抽气管道上，应分别设置能控制和稳定进气压力和流量……的装置”。文中没有指明用什么装置，实际上未限制使用稳压罐，使选择范围更广了。

2）测温模拟试件在生产中很少采用，故本标准不再推荐。

（3）由于脉冲电源大量采用，本标准增加了导通比这个术语。

4. 增加了“工艺分类代号”一章

离子渗氮工艺分类代号为 533-08。

5. 离子渗氮设备

由于离子渗氮设备的专业标准没有修订而旧标准又被废止，造成“空白”。为了避免混乱无序，在修订本标准时，特意将离子渗氮设备型号的标准形式和内容纳入，同时补充了离子渗氮设备的主要参数和技术条件，对产品铭牌标注内容也做了一些规定。

（1）对脉冲电源而言，增加“脉冲频率”（kHz）和“导通比调节范围”两个参数，本标准规定采用“导通比”术语而不再使用“占空比”一词，以免引起概念混乱。

（2）为了降低离子渗氮炉的能耗，本标准规定“水冷式炉壁的离子渗氮炉至少应设有两层隔热屏”，实验证实，设一层隔热屏比无隔热屏设备节能约 20%，设两层隔热屏节能 35% 左右。

（3）空炉冷态从大气压抽到 6. 7Pa（极限真空度）所需时间应不大于 30min。本标准规定对于容积大于 $4m^3$ 的大型设备可以协议放宽要求，以避免不必要地选用大抽气率的真空获得系统而增加设备费用。

（4）本标准规定，带有辅助电源的离子渗氮炉，当仅使用辅助电源加热时，其有效加热区的温度偏差≤±10°C，而仅有离子加热电源的离子渗氮炉，没有“有效加热区炉温均匀性”的技术指标。因为其炉温均匀性主要取决于装炉方式和工艺操作，所以不应作为设备的技术指标。

（5）目前离子渗氮设备的技术参数和产品铭牌上大多都有最大处理表面积一项。最大处理表面积的实质是设备额定输出电流与工件表面辉光电流密度的比值。辉光电流密度主要取决于渗氮温度，还和炉子的保温结构、工件形状、装炉量等因素有关，是不确定的。因此，最大处理表面积没有可比较性。有些设备生产厂故意选用较小的辉光电流密度，以获得较大的“处理表面积”来误

导使用者。因此，本标准取消这一参数。

（6）本标准把“温度、气压和流量的测量和检定”放入设备一章。

1）“目测温度”是离子渗氮生产上最常用的测温方法。由于有人为因素的影响，这种方法还只能作为一种辅助测温方法。本标准只在辅助测温方法前加了“常用”两字，表示这种方法应用的广泛性；并标明只用于测量500℃以上工件的温度，过低的温度眼睛就看不见了。

2）热电偶封闭内孔测温方法为离子渗氮工艺的标准侧温方法，上海机械制造工艺研究所、江西第四机床厂和北京机床研究所都对此做过系统实验。实际上各种离子渗氮的测温方法，包括目测温度都是以热电偶封闭内孔测温作为基础的，具体规定见标准中附录A。

3）气体流量测量推荐采用质量流量计，其技术先进，测量精度高，便于实现流量或压力的自动控制。但也不限制玻璃转子流量计的使用。

4）转子流量计应在正压状态下工作，为此调节阀门需安装在出气一端，即流量计上端。

5）无论是质量流量计还是转子流量计，都需要在与使用气体相同的条件（主要是气体种类和压力）下进行标定。如果无法达到上述要求，在标定气体和使用气体的黏度系数接近的条件下，可用标准中附录B示出的“气体流量换算公式”换算成标准状态下的气体流量。一般氨气可用氮定标的流量计进行换算后使用，当使用气体与流量计标定气体的黏度系数相差较大时，用标准中附录B的换算公式将会有较大的误差。例如用氮气、空气定标的流量计来测量黏度系数相差较大的氢气、乙烷等气体时，应按标准中附录B中的皂膜流量计的测量方法，测量标定后使用。

6. 待渗氮件

与旧标准相比这一章的改动较大。

（1）常用渗氮材料（见标准中表1）中增加了碳素结构钢和灰铸铁，虽然这些材料离子渗氮后，扩散层的硬度不高，但是薄薄的化合物层（0.01mm左右）有时也能满足工件的使用要求。

（2）去除旧标准4.2“待渗氮件的加工工序”一条，而改用待渗氮件处理前状态及外观和尺寸要求两条。

因为加工工序安排，一般由机加工工艺人员制定，我们只需确认并记录待渗氮件的状态，根据标准中表3的要求，对待渗氮件的外观和尺寸进行记录和验收。

1）本标准表2“待渗氮件的状态”预备热处理中列有去应力退火和稳定化处理两项，前者是以降低内应力水平为主的处理，后者是以稳定内应力分布状态和稳定组织为主的处理。

2）离子渗氮层最耐磨部分为外表层，大部分渗氮件的深层深度均在0.40mm以下，因此，渗氮后磨削余量过大是不合理的。本标准在表3中规定了渗氮件单边的加工余量≤0.05mm。

3）易畸变的待渗氮件有时在渗氮前已发现畸变超差，所以本标准在表3中规定渗氮前检查待渗氮件的加工公差应≤工件图样或工艺所规定公差的50%。也就是说，应该有50%或以上的公差是留给离子渗氮处理时，所产生的变形和尺寸变化的。

（3）增加了“离子渗氮的技术条件”一条，特别在标准附录C中规定了离子渗氮层硬度和深度的表示方法，力求表述统一规范。

（4）把预备热处理放入此章。

1）退火处理的工件渗氮硬度较低，一般不宜采用。

2）正火处理的工件离子渗氮后冲击韧度较低，仅适用于不受冲击，要求不高的小型渗氮件，具体情况见表2.16-1。

3）渗氮工件冷校直将会导致渗氮层开裂，为了防止渗氮畸变超差造成废品，标准中规定对易变形或精度较高的工件在机械加工过程中应进行一次或多次去应力退火，可减少渗氮过程中产生的畸变。在去应力退火时如变形超差，进行校直后应按原工艺再次退火，消除校直应力，直到畸变量

合格为止。

4）调质回火温度应高于去应力退火温度20～30°C，去应力退火温度应高于离子渗氮温度20～30°C。

表 2.16-1 不同预备热处理的38CrMoAl和40Cr钢离子渗氮后冲击韧度

牌 号	预备热处理	离子渗氮后冲击韧度 a_K/(J/cm^2)	牌 号	预备热处理	离子渗氮后冲击韧度 a_K/(J/cm^2)
38CrMoAl	930°C 正火	27.2	40Cr	880°C 正火	3.8
	930°C 油淬+670°C 回火	86.6		860°C 油淬+600°C 回火	72.5

5）本标准对调质后的金相组织做出规定，要求调质后表面5mn。内的游离铁素体量不得超过50（体积分数），此条主要为保障渗氮件的表面硬度和耐磨性，减小脆性。

7. 渗氮处理

把旧标准中的渗氮工艺、渗氮操作和离子渗氮试样的相关内容合并为本标准的第7章渗氮处理。

（1）对标准中表4“常用材料的渗氮温度、表面硬度和渗氮层深度范围”的内容数据做了补充和调整。

1）增加了45钢、42CrMo、5CrNiMo、4Cr5MoSiV1，1Cr11MoV和灰铸铁的相关数据。

2）为了防止魏氏组织出现，将旧标准中渗氮温度超过570°C的都改为570°C（奥氏体不锈钢除外）。

3）38CrMoAl两段渗氮中第一段的温度从原520～530°C改为480～530°C。因为生产中时有要求渗氮表面下0.1mm处，甚至0.2mm处的硬度≥900HV，所以必须降低第一段的渗氮温度，才能保证38CrMoAl钢表面层良好的硬度梯度。

4）1Cr18Ni9Ti（旧不锈钢牌号）奥氏体不锈钢增加了渗氮后能保持较高耐蚀性的低温离子渗氮工艺。

5）添加了标准中表4所列各材料的预备热处理后的硬度数据。基体硬度和渗氮后所能达到的硬度有直接关系，基体硬度高，渗氮表面硬度也越高，硬度梯度也更好。

（2）对表5“氨气流量选则范围”中的数据做适当整合，成为根据整流输出电流大小合理选择氨气流量的参数依据，更具可操作性。供气量过小，不能满足工件吸氮量的需求，会造成表面氮浓度低，硬度和深度相应降低。渗氮时间越短，这种影响越明显。供气量过大，除了浪费气源，氨气分解率降低，氮势增加，脆性增大外，还会对工件上的凹槽，内孔等部位造成硬度、深度降低的现象，从而使那些工件得不到均匀的渗层。

（3）待渗氮件清理（标准中7.3.1）增加烘烤清理方法，实践证明，此法对铸钢、铸铁件清理效果良好。

（4）本标准强调“装炉方式是决定炉温均匀度的重要环节”，增加了资料性附录D《装炉要点》，分析了影响离子渗氮温度均匀度的主要因素和炉型及工件放置位置对炉内温度分布的一般规律，原则地提出离子渗氮正确的装炉方法，仅供参考。

（5）增加套筒类工件内孔渗氮需要内置阳极的长径比条件。

（6）随炉试样安放的位置应力求在渗氮时与待渗氮件的温度基本一致。若温度不一样，超出温度均匀度允差时，试样的渗氮结果不能代表渗氮件的质量。操作时，应尽可能把试样放在从观察窗能观看到的地方。

（7）本标准规定，达到保温温度后的2～3h内应经常熄灭辉光目测温度和温度均匀度，如有误差要及时调整。这是因为渗氮初期工件表面的黑度系数变化较大，工件由亮变灰，黑度系数增

大，散热损失增加，从而导致温度降低。

（8）离子渗氮的温度均匀度，主要和装炉方式有关。对于混装件炉温均匀度仍维持旧标准±15℃的规定；本标准把整炉装同种工件的炉温均匀度提高到±10°C，对于有经验的操作者这一要求是不难达到的，这也标志着我国离子渗氮的工艺水平在逐步提高。

（9）保温时如果温度均匀度超差，可以通过调整气压以求改善。提高气压可以降低中间工件的温度，降低气压可以减小上下工件的温差，所以调节气压改善温度均匀度的作用是有限的，有时很难同时兼顾上下内外的温度。一切都应在装炉时考虑得更周全一点，再配合气压的调整，才能实现温度均匀度的要求。

8. 渗氮件的质量检验

（1）渗氮层深度和所选维氏硬度试验力的关系：当渗氮层深度≥0.3mm，渗氮层表面硬度≥400HV时，用49N或98N试验力测得的维氏硬度值基本相等。因此，本标准规定，渗氮层深度＜0.3mm时，维氏硬度的试验力应小于49N；渗氮层深度≥0.3mm时，试验力应不低于49N。

（2）本标准增加了“大型渗氮件可以用带有‘C’测头的里氏硬度计测量表面硬度”一条。

9. 增加部分内容

（1）增加“安全卫生要求”一章。

（2）增加“产品报告单”一章。

10. 附录部分

附录A删掉旧标准中A4“模拟试件的检定”和A5“热电偶直接测温和检定”，增加“用标准测温试件校对目测温度”一条。前者在生产中基本不用，而目测温度却是生产中常用的辅助测温方法。

增加规范性附录C《离子渗氮层技术条件的表示方法》和资料性附录D《装炉要点》。（北京莫泊特离子金属热处理技术有限公司姜椿年供稿）

三、标准内容（JB/T 6956—2007）

钢铁件的离子渗氮

1 范围

本标准规定了工件离子渗氮的设备、材料、工艺、质量检验及安全要求。

本标准适用于钢铁件的离子渗氮处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 536 液体无水氨（GB 536—1988，neq ГОСТ 6221：1982）

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB/T 700 碳素结构钢（GB/T 700—2006，ISO 630：1995，NEQ）

GB/T 1220 不锈钢棒（GB/T 1220—1992，neq JIS G 4303：1988）

GB/T 1221 耐热钢棒（GB/T 1221—1992，neq JIS G 4311：1987）

GB/T 1299 合金工具钢（GB/T 1299—2000，neq ASTM A 681：1994）

GB/T 1348 球墨铸铁件

GB/T 3077　合金结构钢（GB/T 3077—1999，neq DIN EN 10083-1：1991）

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 7232　金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 7445　纯氢、高纯氢和超纯氢（GB/T 7445—1995，eqv JIS KO 512：1974）

GB/T 8979　纯氮

GB/T 9439　灰铸铁件

GB/T 9451　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定［GB/T 9451—2005，ISO 4970：1979（E），MOD］

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 9943　高速工具钢棒技术条件（GB/T 9943—1988，neq ASTM A 600：1979）

GB 10067.1　电热装置基本技术条件　第1部分：通用部分

GB/T 11354　钢铁零件　渗氮层深度测定和金相组织检验

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 17394　金属里氏硬度试验方法

GB/T 18449.1　金属努氏硬度试验　第1部分：试验方法［GB/T 18449.1—2001，neq ISO 4545：1993（E）］

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324中确立以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　待渗氮件　prepared nitriding parts

经适当预备热处理和机械加工后准备进行离子渗氮处理的工件。

3.2　渗氮件　nitrided parts

经离子渗氮处理的工件。

3.3　辅助阴极（阳极）　auxiliary cathode（anode）

为改善工件渗氮温度均匀度，在阴极（阳极）上增设的钢铁组件。

3.4　测温头　measure temperature probe

用铠装热电偶和特殊结构的温度检测头制成，在离子渗氮时能与工件直接接触的测温装置。

3.5　导通比　conductance

在一个脉冲周期中，导通时间与脉冲周期的比值。

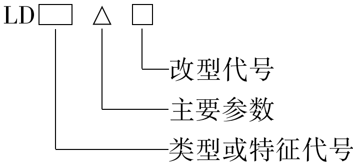
4　工艺分类代号

离子渗氮的工艺分类及代号应符合GB/T 12603的规定，离子渗氮工艺分类代号为533-08。

5　离子渗氮设备

5.1　型号的主要参数

5.1.1　型号



类型或特征代号——M 脉冲（不写为直流）
Z 全自动
J 井式（不写为置式）
N 带有辅助内热式电源
W 带有辅助外热式电源
B 带有保温炉体
主要参数——整流输出额定电流，单位为 A
改型代号——用 A、B、C、D 等表示

5.1.2 主要参数

a）电源电压，单位为 V；
b）电源相数；
c）电源频率，单位为 Hz；
d）额定功率，单位为 kW；
e）整流输出电压调节范围，单位为 V；
f）整流输出额定电流，单位为 A；
g）辅助电源额定功率，单位为 kW；
h）脉冲电源频率，单位为 Hz；
i）脉冲电源导通比的调节范围；
j）最大装载量，单位为 kg 或 t；
k）额定温度，单位为°C；
l）有效工作空间尺寸，单位为 mm；
m）极限真空度，单位为 Pa；
n）压升率，单位为 Pa/min；
o）冷却水耗量，单位为 m^3/h；
p）炉体外形尺寸，单位为 mm；
q）炉体重量，单位为 kg 或 t。

5.2 技术要求

5.2.1 炉体上应设置观察窗，以便观察零件处理情况。
5.2.2 在炉体或抽气管道的适当位置上应设置充气阀。
5.2.3 在进气、抽气管道上，应分别设置能控制和稳定进气压力和流量及调节抽气速度的装置。
5.2.4 水冷式炉壁的离子渗氮炉至少应设有两层隔热屏。
5.2.5 应设置电压、电流、真空度和进气流量的测量指示仪表，温度测量指示仪表应具有控制和记录功能；冷却水系统应设有保护装置。
5.2.6 在大气压状态下，炉体阴极与阳极之间的绝缘电阻用 1000V 绝缘电阻表测量，应不低于 4MΩ。
5.2.7 炉体的极限真空度应≤6.7Pa。有特殊要求时，应在产品协议中另行规定。
5.2.8 空炉冷态下从大气压抽到 6.7Pa 所需时间应不大于 30min。真空系统容积大于 $4m^3$ 的设备可适当放宽，由协议确定。
5.2.9 炉体的压升率应≤7.8Pa/h。
5.2.10 整流输出电压应连续可调，在 200V 以上无突跳现象。
5.2.11 电源应有可靠的灭弧装置，灭弧时间根据所采用的灭弧方法在产品标准中规定。

5.2.12　离子渗氮炉的额定温度为650°C。

5.2.13　带有辅助电源的离子渗氮炉，仅用辅助电源加热时，炉子的有效加热区按GB/T 9452规定测定，其温度偏差值不应超过±10°C。

注：没有辅助加热电源的离子渗氮炉，没有“有效加热区”的技术指标，渗氮的炉温均匀度主要取决于装炉方式和工艺操作。

5.3　标志、包装、运输和储存

5.3.1　离子渗氮设备的标志、包装、运输和储存应符合GB/T 10067.1的规定。

5.3.2　在离子渗氮炉的铭牌上一般应标出下列各项：

a）产品型号和名称；

b）电源电压：单位为V；

c）电源相数；

d）电源频率，单位为Hz；

e）额定功率，单位为kW；

f）电压调节范围，单位为V；

g）整流输出额定电流，单位为A；

h）重量，单位为kg或t；

i）产品编号；

j）制造日期；

k）制造厂名称（出口产品应标明国名）。

5.4　离子渗氮设备的保养

5.4.1　定期测试真空系统的压升率，压升率不达标时应检修合格后再使用。

5.4.2　控温仪表及热电偶应定期校验。

5.4.3　真空泵应定期清洗和换油。

5.4.4　设备长期不使用时炉内应保持真空状态。

5.5　渗氮介质

5.5.1　离子渗氮推荐采用氮氢混合气、热分解氨或氨气为渗氮介质。

5.5.2　氮气和氢气的质量应符合GB/T 7445、GB/T 8979的规定，氮气和氢气的纯度应不低于99.9%。

5.5.3　氨气质量应符合GB 536一等品的要求。

5.5.4　进气气压应大致恒定，压力不超过0.1MPa。

5.6　温度、气压和流量的测量和检定

5.6.1　温度的测量和检定

5.6.1.1　离子渗氮温度可以用热电偶或非接触测温仪表测量，目测温度是测量500°C以上工件常用的辅助方法。

5.6.1.2　热电偶输入封闭内孔中的测温方法是离子渗氮温度的标准测量方法。热电偶热端到某一起辉表面的距离应不大于2mm，热电偶插入孔内的深度应大于30mm，此时热电偶的温度就规定为该起辉表面的温度。其他各种测温方法的检定要求见附录A。

5.6.2　气压测量

5.6.2.1　离子渗氮的工作气压推荐采用膜片式真空计测量。

5.6.2.2　热导式电阻真空计不能正确指示离子渗氮的工作气压，只可用于极限真空度和压升率的测量。

5.6.3　流量测量和标定

5.6.3.1　应采用质量流量计或经相同气体标定的转子流量计测量进气流量。

5.6.3.2　转子流量计应在正压状态下工作，流量调节阀应安装在转子流量计的出口端。

5.6.3.3　转子流量计的标定气体和标定气压与被测气体状态不同时，可用公式换算（当气体粘滞系数接近时）或用皂膜流量计测量标定（见附录B）。

6　待渗氮件

6.1　渗氮材料

常用渗氮材料见表1。

表1　常用渗氮材料

类别及标准号	材料牌号
普通碳素结构钢(GB/T 700)	Q235
优质碳素结构钢(GB/T 699)	08、10、20、35、45、20Mn
合金结构钢(GB/T 3077)	
锰钒钢	20MnV
锰钒硼钢	15MnVB、20MnVB、40MnVB
硅锰钢	35SiMn、42SiMn
硅锰钼钒钢	20SiMn2MoV、25SiMn2MoV、37SiMn2MoV
铬钢	20Cr、40Cr
铬钒钢	40CrV、50CrVA
铬锰钢	15CrMn、20CrMn、40CrMn
铬锰硅钢	20CrMnSi、30CrMnSiA
铬锰钼钢	20CrMnMo、40CrMnMo
铬锰钛钢	20CrMnTi、30CrMnTi
合金结构钢(GB/T 3077)	
铬钼钢	15CrMo、35CrMo、42CrMo
铬钼钒钢	12CrMoV、35CrMoV、25Cr2MoVA
铬钼铝钢	38CrMoAl
铬镍钢	12CrNi3、12Cr2Ni4、20CrNi3、20Cr2Ni4
铬镍钼钢	20CrNiMo、40CrNiMoA
铬镍钨钢	18Cr2Ni4WA、25Cr2Ni4WA
合金工具钢(GB/T 1299)	3Cr2W8V、4Cr5MoSiV（H11）、4Cr5MoSiV1（H13）、5CrNiMo、5CrMnMo、6Cr4W3Mo2VNb、Cr12MoV、Cr12
高速工具钢(GB/T 9943)	W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2
不锈钢(GB/T 1220)	1Cr13、2Cr13、3Cr13、1Cr18Ni9Ti、9Cr18
耐热钢(GB/T 1221)	1Cr11MoV、4Cr9Si2、4Cr14Ni14W2Mo
灰铸铁(GB/T 9439)	HT200、HT250
球墨铸铁(GB/T 1348)	QT600-3、QT700-2

6.2　离子渗氮的技术条件

待渗氮件离子渗氮的技术条件主要有：

a）渗氮层表面硬度；

b）渗氮层深度或有效渗氮层深度；

c）渗氮层的硬度梯度；

d）化合物层的厚度；

e）化合物层的结构；

f）渗氮层的显微组织；

g）渗氮层的脆性。

离子渗氮层表面硬度和深度的表示方法见附录 C。

6.3　处理前状态

根据表 2 规定的项目，确认待渗氮件的状态，并予以记录。

表 2　待渗氮件的状态

项　　目	记 录 内 容
材料试验数据	材料牌号、硬度、脱碳层、显微组织
毛坯制造方法	铸造、锻造、轧制、挤压、焊接
预备热处理	正火、淬火回火（包括调质）、去应力退火、稳定化处理、固溶处理、时效

6.4　外观和尺寸

根据表 3 规定的项目，确认待渗氮件的外观、形状及尺寸，并予以记录。

表 3　待渗氮件的外观和尺寸验收

项　　目	记 录 内 容
外观	裂纹、缺陷、锈斑、黑皮
重量	单件重量（单位为 kg）及件数
尺寸及精度	工件的轮廓尺寸 需渗氮部分加工余量（≤0.05mm） 需渗氮部分粗糙度（≤1.6μm） 需防止渗氮的部分 尺寸、形状和位置公差（待渗氮件的加工公差应≤工件图样或工艺所规定公差的 50%）

6.5　预备热处理

6.5.1　一般结构钢应采用调质处理，调质回火温度应高于渗氮温度，以渗氮后不降低工件的基体硬度为准。

6.5.2　正火处理仅适用于对冲击韧性要求不高的渗氮工件，正火的冷却速度不宜过慢。

6.5.3　工模具钢一般采用淬火加回火处理，回火温度应高于渗氮温度。

6.5.4　马氏体不锈钢、耐热钢通常采用调质处理，奥氏体不锈钢可采用固溶处理。

6.5.5　易畸变或精度较高的工件，在机械加工过程中应进行一次或多次去应力退火，其温度应比调质回火温度低，比渗氮温度高。工件校直后还应施行去应力退火，直到畸变量合格为止。

6.5.6　工件预备热处理后金相组织和硬度应符合技术要求和工艺规定。通常工件调质后表面 5mm 内游离铁素体量不得超过 5%（不大于 GB/T 11354 渗氮前原始组织评级中的二级）。

6.6　待渗氮件的验收

对待渗氮件的材料牌号、处理前的状态、外观及尺寸应按 6.1、6.3、6.4 的规定执行。

7　渗氮处理

7.1　渗氮工艺

7.1.1　渗氮温度可根据待渗氮件材料、渗层的硬度和深度、畸变、基体硬度以及工件结构等因素综合考虑确定。常用材料的渗氮温度、渗氮后表面硬度和渗层深度范围见表 4。

表 4 常用材料的渗氮温度、表面硬度和渗氮层深度范围

材料		预备热处理		离子渗氮技术要求		常用渗氮温度/°C
类别	牌号	工艺	硬度（不低于）	表面硬度 HV（不低于）	一般深度范围/mm	
碳钢	45	正火	215HBW	250	0.2～0.60	550～570
合金结构钢	20Cr	调质	215HBW	550	0.2～0.50	510～540
	40Cr	调质	235HBW	500		
	20CrMnTi	调质	215HBW	600		
	35CrMo	调质	28HRC	550		
	42CrMo	调质	28HRC	550		
	35CrMoV	调质	28HRC	550		
	40CrNiMo	调质	28HRC	550		
渗氮钢	38CrMoAl	调质	255HBW	850	0.30～0.60	等温渗氮：510～560 二段渗氮：480～530+550～570
合金工模具钢	3Cr2W8V	调质	396HBW	800	0.15～0.30	520～560
		淬火+回火	45HRC	900	0.10～0.25	
	5CrNiMo	淬火+回火	41HRC	600	0.20～0.40	
	5CrMnMo	淬火+回火	41HRC	650	0.20～0.40	
	4Cr5MoSiV1	淬火+回火	48HRC	900	0.10～0.40	510～530
	Cr12MoV	淬火+回火	59HRC	1000	0.10～0.20	480～520
	W18Cr4V	淬火+回火	64HRC	1000	0.02～0.10	480～520
不锈钢和耐热钢	1Cr18Ni9Ti	固溶处理		1000	0.01	420～450
				900	0.08～0.15	560～600
	2Cr13	淬火+回火	235HBW	850	0.10～0.30	540～570
	1Cr11MoV	淬火+回火	280HBW	650	0.20～0.40	520～550
	4Cr9Si2	淬火+回火	30HRC	850	0.10～0.30	520～560
	4Cr14Ni14W2Mo	退火	235HBW	700	0.06～0.12	540～580
灰铸铁	HT200，HT250	退火	200HBW	300	0.10～0.30	540～570
球墨铸铁	QT600-3，QT700-2	正火	235HBW	450	0.10～0.30	540～570

7.1.2 保温时间由待渗氮件材料、渗氮温度和渗层深度确定。

7.1.3 离子渗氮常用的气压范围是100～1000Pa，选用气压应顾及温度均匀度和防止产生辉光集中。

7.1.4 氨气流量可根据设备整流输出电流参照表5中的数值选取。整流输出电流大，装炉量多，渗氮保温时间短者取上限。

表 5 氨气流量选择范围

整流输出电流/A	10～25	25～50	50～100	100～150
合理供氨量/(mL/min)	100～200	200～350	350～650	650～1100

7.1.5　离子渗氮时，工件表面的电流密度一般为0.5~5mA/cm^2。

7.2　试样

7.2.1　除了可以破坏检查渗氮层深度的工件外，通常每炉待渗氮件应带有符合要求的随炉试样数件。

7.2.2　试样的牌号、预备热处理工艺和表面粗糙度应与待渗氮件一致。

7.3　渗氮操作

7.3.1　清理待渗氮件上的油垢、锈斑、残存切屑和其他污物，如果放在350°C的电阻炉中烘烤，清理效果更佳。

7.3.2　待渗氮件上需防渗的部位和不需渗氮的小孔、窄缝应用钢件进行覆盖和屏蔽或用专用涂料保护。

7.3.3　装炉

7.3.3.1　装炉方式是决定炉温均匀度的重要环节。应根据待渗氮件的形状和结构因素，离子渗氮炉内的散热条件和辉光放电电流密度的分布规律进行综合考虑后再确定装炉方案（参见附录D）。

7.3.3.2　待渗氮件之间应留有合适的间距，既能满足形成辉光所需要的间距，还要顾及温度均匀度的要求。

7.3.3.3　套筒类工件需要内孔渗氮时，套筒下部应架空，以便渗氮气体流动和辉光进入孔内。当套筒的长径比不超过8时，可利用炉壁作阳极进行渗氮；当长径比为8~16时，套筒内应设辅助阳极；当长径比大于16时，还需要把渗氮气体引入套筒内。

7.3.3.4　在待渗氮件温度可能偏低的部位，应设置辅助阴极或辅助阳极。

7.3.3.5　试样安放的位置应力求在渗氮时与待渗氮件的温度基本一致。

7.3.4　渗氮过程

7.3.4.1　气压低于30Pa时点燃辉光，逐渐升高电压和气压进行可控的弧光放电清理和升温。

7.3.4.2　易畸变的渗氮件在400°C以上应缓慢升温。

7.3.4.3　及时开启循环冷却水系统，出水温度不应超过60°C。

7.3.4.4　在临近保温温度时，应经常熄灭辉光目测温度以防超温，达到保温温度后的2~3h内也应经常熄灭辉光目测温度和温度均匀度，如有误差要及时调整。

7.3.4.5　在保温期间，整炉工件的温度均匀度应不大于±15°C，整炉装同种工件时温度均匀度应不大于±10°C。如温度均匀度超差，可通过调整气压以求改善。

7.3.4.6　升温和保温过程中，每小时至少记录一次温度、电流、电压、流量、气压等参数的数值和发生的特殊情况。

7.3.4.7　保温结束后，推荐采用下述停炉方法：切断辉光电源，关闭阀门停止供气和抽气，工件在渗氮气氛中随炉冷却。容易产生氢脆的工件，应抽去渗氮气体在真空中冷却。

7.3.4.8　工件温度降到200℃以下方可充入空气出炉。

7.3.4.9　出炉后工件未渗氮部位应及时涂油防锈。

7.3.4.10　渗氮后畸变超差的工件，需经整体或局部加热后方可校直，校直加热温度应低于渗氮温度。

8　渗氮件的质量检验

8.1　外观

渗氮表面不应有裂纹、剥落和明显的电弧烧伤痕迹。钢铁件离子渗氮表面色泽应为银灰色或暗灰色。

8.2　硬度

8.2.1　表面硬度采用试验力为9.8N~98N载荷的维氏硬度计测量。如渗层深度<0.3mm，应符合GB/T 9451的规定，维氏硬度的试验力不应超过49N。渗层深度≥0.3mm，试验力应不低于49N。

8.2.2 化合物层的硬度必须用试验力为0.49N～1.96N的显微维氏硬度计测量。

8.2.3 表面硬度检查应直接抽检渗氮件，如不便检测时可用同炉试样代替，并在报告中注明。

8.2.4 大型工件的渗氮层表面硬度可以用带有“C”测头的里氏硬度计测量，测量部位的粗糙度应≤0.4μm。

8.2.5 渗氮层的表面硬度应达到技术要求，其硬度偏差值不应超过表6规定。

表6 表面硬度偏差的允许值 (HV)

单件		同批	
≤600	>600	≤600	>600
45	60	70	100

注：同批工件系指相同材料，经相同预备热处理，并在同一炉次渗氮处理的同种工件。

8.2.6 对留有加工余量的渗氮件应作硬度梯度检查，将渗氮件或渗氮试样表面磨去工艺规定的加工量后测得的硬度值应不低于成品件所要求的表面硬度。

8.2.7 硬度检验按照GB/T 4340.1、GB/T 17394的规定执行。

8.3 深度

8.3.1 渗氮层深度可在渗氮件或试样上测定。

8.3.2 渗氮层深度应达到技术要求，其深度偏差值不应超过表7规定。

表7 渗氮层深度偏差的允许值 (单位：mm)

渗氮层深度	深度偏差	
	单件	同批
≤0.3	0.05	0.10
>0.3～0.6	0.10	0.15
>0.6	0.15	0.20

注：同批工件系指相同材料，经相同预备热处理，并在同一炉次渗氮处理的同种工件。

8.3.3 渗氮层深度检验按照GB/T 4340.1、GB/T 11354和GB/T 18449.1的规定执行。

8.4 脆性

渗氮层脆性检验按照GB/T 11354的规定执行。

8.5 金相

渗氮层疏松级别和渗氮扩散层中氮化物级别按照GB/T 11354的规定执行。

8.6 防渗

工件防渗部位的硬度如有增高，以不影响后续加工为合格。

8.7 畸变

渗氮件的畸变应符合图样和工艺的要求，如必须校正，应采用热校，随后立即进行去应力退火及探伤。

9 安全卫生要求

离子渗氮过程的安全卫生要求按照GB 15735的有关规定执行。

10 产品报告单

10.1 根据要求可按每批或每炉开具报告单。

10.2 报告单应包括下列内容：

a）渗氮件的名称、代号和材料牌号；

b）单件重量及数量；

c）质量检验结果；

d）操作者姓名或代号；
e）质量检验员姓名或代号；
f）报告日期。

附　录　A
（规范性附录）
温度检定方法

A.1　标准测量方法

5.6.1.2 规定的封闭内孔测温法是离子渗氮温度的标准测量方法。

A.2　标准测温试件

A.2.1　为检定离子渗氮所用的热电偶测温头、红外光电温度计或双波段比色温度计，需制作标准测温试件（材料：中碳钢），其尺寸要求见图 A.1。

A.2.2　使用过的标准测温试件表面经磨光后可继续使用。

A.3　测温头、红外光电温度计和双波段比色温度计的检定

A.3.1　将经检定合格的标准热电偶插入标准测温试件的孔内，热电偶和标准测温试件之间用瓷套管绝缘。被检定的测温头紧压在热电偶热端附近的试件表面；红外光电温度计和双波段比色温度计通过石英玻璃观察窗瞄准热电偶热端附近的试件表面（见图 A.2）。

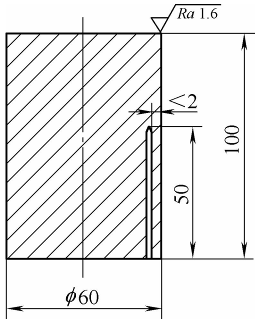


图 A.1　标准测温试件

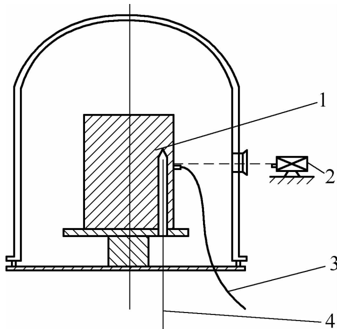


图 A.2　封闭内孔测温法示意图
1—标准测温试件　2—被检定的红外光电温度计或双波段比色温度计　3—被检定的测温头　4—标准热电偶

A.3.2　每检定一个温度值，标准测温试件必须均温 0.5h 以上方可读数。

A.3.3　将被检定的测温头（或红外光电温度计和双波段比色温度计）与标准热电偶的温度误差数值制成校正曲线或表格以备用。

A.4　用标准测温试件校对目测温度

当标准测温试件中的热电偶指示值达到 500°C 时，每增加 10°C 须均温 0.5h，然后熄灭辉光，通过观察窗观看测温试件表面的颜色比较它们之间的区别，实现准确目测温度。

附　录　B
（规范性附录）
流量换算及测量方法

B.1　流量换算公式

流量换算公式见式（B.1）：

$$Q_2 = Q_1\sqrt{\left(1+\frac{p_2}{p_1}\right)\frac{r_1}{r_2}} \tag{B.1}$$

式中 Q_1——流量计指示的流量值（L/min）；
Q_2——标准状态下气体的流量值（L/min）；
r_1——流量计标定时所用气体的密度（g/L）；
r_2——被测气体的密度（g/L）；
p_1——标准大气压强，1.01×10^5Pa；
p_2——经减压后气体的压力（Pa）。

B.2 皂膜流量计测量方法

皂膜流量计的入口与被校的转子流量计出口用橡胶管相连，通气使皂膜上升，用秒表测得皂膜移到一定刻度的时间，按式（B.2）计算流量值：

$$Q = 60\frac{L}{T} \tag{B.2}$$

式中 Q——实际流量（mL/min）；
L——皂膜移动格数（mL）；
T——皂膜移动 L 格数的时间（s）。T 值应取测量五次的平均值。

皂膜流量计管内应保持清洁，湿润，皂水应用澄清的肥皂水或烷基苯磺酸钠等能起泡的液体。

标定氨气流量时，为避免氨气溶于水而影响测量，气体在进入皂膜流量计前应先进行充分热分解，使之成为氮和氢，所测流量值的$\frac{1}{2}$即为氨气的实际流量。

附 录 C
（规范性附录）
离子渗氮层技术条件的表示方法

C.1 离子渗氮层表面硬度和渗氮层深度的表示方法：

示例：LD900-0.5

表示：离子渗氮处理，渗氮层表面硬度≥900HV，渗氮层深度≥0.5mm。该深度系指从渗氮层表面至高出基体硬度 30HV ~50HV 处的垂直距离。

C.2 离子渗氮层表面硬度和有效渗氮层深度的表示方法

示例：LD900-0.3（420HV0.2）

表示：离子渗氮处理，渗氮层表面硬度≥900HV，从渗氮层表面到硬度为 420HV 处的垂直距离≥0.3mm，测量深度的小负荷维氏硬度试验力为 1.961N。

附 录 D
（资料性附录）
装 炉 要 点

D.1 影响温度均匀度的主要因素

D.1.1 阴、阳极距离影响辉光电流密度分布，距离近者电流密度大。气压升高时，阴、阳极距离近者，电流密度增加幅度较大。

D.1.2 靠近炉壁或附近空间较大的工件散热快，温度可能偏低。

D.1.3 工件上辉光集中的部位局部电流密度偏大，温度偏高。

D. 1. 4　起辉面积大，散热损失小的工件，如内孔也起辉的工件，温度可能偏高。

D. 1. 5　工件摆放的紧密度也影响温度分布，工件间距离小温度将偏高。

D. 2　离子渗氮时炉内温度分布的一般规律

D. 2. 1　放在罩式炉内的工件，一般上部空间大，工件上部温度偏低。

D. 2. 2　吊挂在井式炉中的工件，一般下部空间大，工件下部温度偏低。

D. 2. 3　放在阴极盘中间部分或吊挂在中部的工件，因为散热损失小，一般温度容易偏高。

D. 3　正确的装炉方法

D. 3. 1　温度可能低的工件，放在散热条件差的地方。温度可能高的工件，放在散热条件好的地方。

D. 3. 2　散热条件好的地方，工件可排放的密一些。散热条件差的地方，工件间距离应适当加大。

D. 3. 3　罩式炉的上部，井式炉的下部，应放置辅助阴极或辅助阳极。

D. 3. 4　避免产生辉光集中。

第十七节　精密气体渗氮热处理技术要求

一、概论

1. 本标准的重要性、必要性

渗氮技术由于工艺温度低，畸变小，耐磨性高等特点，特别对于精密大型零件表面硬化具有特殊作用，应用越来越广泛，已成为精密热处理的重要强化方法。近年来，气体渗氮在精密控制氮势技术、快速渗氮技术、短时渗氮技术、不锈钢钝化膜去除技术、炉压控制与尾气处理技术等方面取得巨大进步，相继研制开发出底装料立式炉、罩式炉、箱式炉等新炉型，并与清洗机、装卸机构等组成连续生产线。精密气体渗氮包括定值可控渗氮、分段可控渗氮、氮势门槛值控制渗氮、动态可控渗氮等工艺，其核心是对气体渗氮工艺过程的氮势进行精确控制。为此，在气体渗氮设备方面要求具有渗氮剂—氨和载气—氨裂解气供气系统，采用氮势传感器和控制系统精确的流量控制，要求严格的温度和氮势均匀性，炉压的精确控制，并且要求良好稳定性和可靠性，以保证质量一致性。节能减排也是精密渗氮的重要特征。精密气体渗氮迅速发展，在汽车和精密机械制造方面，广泛应用精密深层渗氮代替渗碳，提高使用性能和寿命，减少机加工，提高生产率；风力发电、轨道交通、航空航天等重点发展行业，采用精密渗氮解决大型零件化学热处理的畸变问题等，适应高水平新产品发展。我国引进了多台精密气体渗氮炉，研制生产的各种类型的精密气体渗氮设备也投入了运行，发挥了重要作用。为了总结和提高精密渗氮技术，指导热处理生产，推动热处理技术进步，目前有必要也有条件制定该标准，以完善我国热处理标准化体系。

2. 国内外精密气体渗氮标准状况

关于渗氮，国内外已有相关的工艺方面的标准。我国有 GB/T 18177—2008《钢件的气体渗氮》、HB/Z 79—1995《航空结构钢及不锈钢渗氮工艺说明书》、JB/T 11232—2011《精密气体渗氮技术要求》。在国外，日本有 JIS B 6915：1993《钢的渗氮及软氮化》；美国宇航材料规范 AMS 2759/10A《氮势控制的自动气体渗氮》，AMS 2759/12A《自动控制氮势、碳势的气体氮碳共渗》，AMS 2759/6B《低合金钢零件的气体渗氮及热处理》；波音公司标准 BAC 5618《合金钢的渗碳和渗氮》；麦道公司标准 DPS 5. 00-3《钢的表面硬化-渗氮》；德国有 DIN17022-4《渗氮和氮碳共渗》等。上述这批标准多属于工艺类标准，重点在工艺参数和工艺过程控制；对设备要求内容较少，水平不高；内容方面除 AMS2759/10A 和 AMS2759/12A 之外，多以普通渗氮为主，先进的精密气体渗

氮内容较少，技术要求不高也不全。本标准制订时，参考了上述国内外标准和广东世创金属科技有限公司等各公司的企标，在 JB/T 11232—2011《精密气体渗氮技术要求》的基础上，总结我国在精密气体渗氮研究成果和生产经验基础上进行编写。各标准对渗氮炉炉温均匀性的要求见表 2. 17-1。

表 2. 17-1 各标准对渗氮炉炉温均匀性的要求

标准编号	标 准 名 称	炉温均匀性要求/℃ ≤
日本 JIS B 6915：1993	钢的渗氮及软氮化	±10
麦道公司 DPS 5. 00-3	钢的表面硬化-氮化	±6
波音公司 BAC5618	钢的渗碳和渗氮	±14
AMS 2759/6B	低合金钢的气体渗氮及热处理	±8
AMS 2759/10A	氮势控制的自动气体渗氮	±8
AMS 2759/12A	自动控制氮势、碳势的气体氮碳共渗	±8
DIN17022-4	渗氮与氮碳共渗	±10
GB/T 18177—2008	钢件的气体渗氮	±5
HB/Z 79—1995	航空结构钢及不锈钢渗氮工艺说明书	±5
JB/T 11232—2011	精密气体渗氮技术要求	±5

3. 对渗氮炉温度控制的要求

1）温度均匀性：本标准要求设备温度均匀性是一般件 ±8℃，重要件 ±5℃。

2）国外相关标准都要求渗氮设备具有防止过热装置，具有超温报警。当有任何设备故障发生，如电源故障、气体流量中断，或任何参数超过足以损害零件的值时，系统应能自动和安全地关闭。本标准已提出相关条款。

4. 对渗氮炉气氛的控制要求

日本 JIS B 6915：1993、麦道公司 DPS 5. 00-3、波音公司 BAC5618、德国 DIN17022-4、我国 HB/Z 79—1995 等标准中对渗氮气氛的控制只要求有氨分解测量装置，GB/T 18177—2008 中开始提出氮势 N_P 值，引入了可控渗氮术语，简略地提出用氮红外仪、氢探头或热导式仪器等氮势自动控制的概念，而美国宇航材料规范 AMS 2759/6B、AMS 2759/10A、AMS 2759/12A 中都提出了渗氮气氛的自动控制。特别是 AMS 2759/10A、AMS 2759/12A，起草于 1999 年，2006 年修改，精密控制渗氮气氛已经步入实际应用阶段。大量的氢探头、氢分仪、质量流量计和电脑自动控制系统开始应用到精密渗氮工艺的控制中去。而我国还没有这方面的相关标准，在同行的国际交流中受到一定的影响。

下面重点以 AMS 2759/6B、AMS 2759/10A、AMS 2759/12A、GB/T 18177 标准为例，简述国内外渗氮工艺及气氛自动控制的情况。

1）在 AMS 2759/10A 标准中，把渗氮工艺分为以下三类：

0 类：不允许白亮层（不推荐用于不锈钢）。

1 类：允许最大厚度为 0. 0005in（0. 013mm）的白亮层。

2 类：允许最大厚度为 0. 001in（0. 025mm）的白亮层。

如果没有指定分级，则选用第 2 级。2 级不推荐用于不锈钢。输入的混合气体的组成和该过程中各个阶段的氮势将被自动控制、维护和记录。

按照上述分类要求，没有气氛的精密自动控制是无法实现的。因此，在该标准中，气体流量控

制要求"精确控制每种气体流量的装置应能根据气氛分析仪的信号自动进行操作"。

氮势：氮势表征渗氮气氛的渗氮能力，在一个给定的温度下控制工件表面氮浓度，如下面方程式所示：

$$K_N = p_{NH_3}/(p_{H_2})^{3/2}$$

式中　p_{NH_3}——氨气在输出气氛中的分压；

p_{H_2}——氨气在输出气氛中的分压，氢气是氨裂解的一种产物。

氮势 K_N 值的控制，按照渗氮工艺类别要求，参考 K_N 值与渗氮组织的关系图（见图 2.17-1）来确定 K_N 值的控制范围。该标准还推荐了不同渗氮工艺类型的 K_N 分段控制值见表 2.17-2。

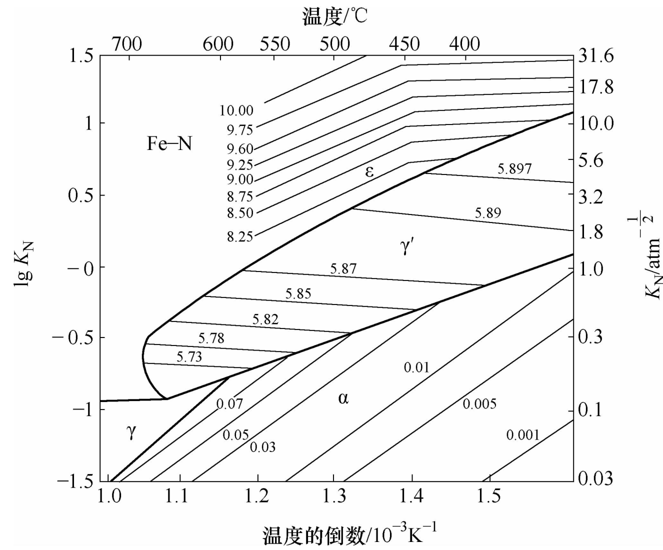


图 2.17-1　在纯铁中氮势与渗氮组织的关系

注：1. 1atm = 101325Pa。

2. 图中数字为氮含量（质量分数,%）

表 2.17-2　典型钢种氮势值的推荐范围

材料	0 类		1 类		2 类	
	阶段 1	阶段 2	阶段 1	阶段 2	阶段 1	阶段 2
Nitralloy 135M	4 ~ 12	0.30 ~ 0.80	4 ~ 12	0.6 ~ 1.8	6 ~ 15	1.2 ~ 2.6
Nitralloy EZ	4 ~ 12	0.30 ~ 0.80	4 ~ 12	0.6 ~ 1.8	6 ~ 15	1.2 ~ 2.6
Nitralloy N	4 ~ 12	0.30 ~ 0.80	4 ~ 12	0.6 ~ 1.8	6 ~ 15	1.2 ~ 2.6
4140,4340	4 ~ 12	0.25 ~ 0.70	4 ~ 15	0.6 ~ 2.6	4 ~ 15	1.2 ~ 4.5
D6,D6AC	4 ~ 12	0.25 ~ 0.70	4 ~ 15	0.6 ~ 2.6	4 ~ 15	1.2 ~ 4.5
H11	5 ~ 15	0.30 ~ 0.80	5 ~ 15	0.4 ~ 0.9	5 ~ 15	2.2 ~ 5.5
不锈钢	5 ~ 15	0.20 ~ 0.70	5 ~ 15	0.4 ~ 0.9	无要求	无要求
碳素钢	—	—	5 ~ 12	0.8 ~ 2.6	1.2 ~ 4.0	—

渗氮过程中对氮势 K_N 值的控制要求：对于任意氮势设定值，当气氛稳定后，平均 K_N 值应保持在图 2.17-2（低氮势范围）和图 2.17-3（高氮势范围）所示的限制范围内（设定值的 ±10%）。每阶段的稳定时间需达到如下的要求：不超过 6h 的短周期工艺过程的稳定时间至少达到该阶段总时

间的 60%，超过 6h 的长周期工艺过程其稳定时间至少达到该阶段总时间的 85%。样本数据将从输出的气氛中测得。该读数频次不得低于每 30s 一次。从图 2.17-2 和图 2.17-3 中可以看出，在 AMS 2759/10A 标准中 K_N 值的控制精度是设定值的 ±10%。

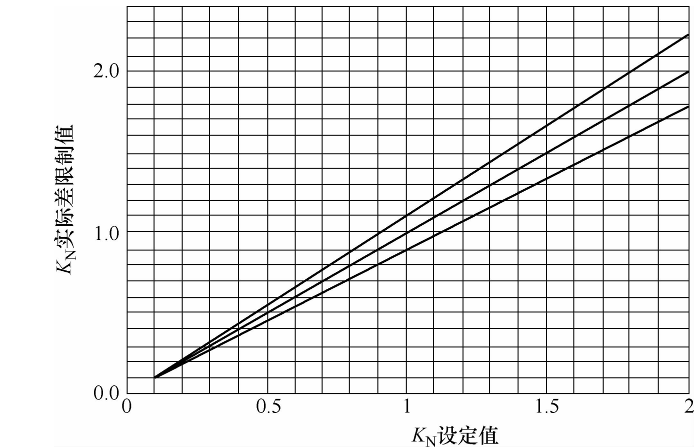


图 2.17-2 低氮势范围的 K_N 实际公差限制值与设定值

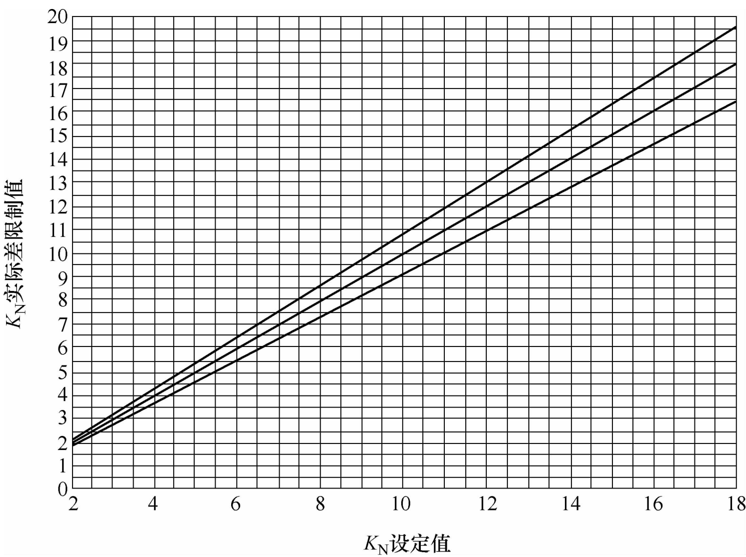


图 2.17-3 高氮势范围的 K_N 实际公差限制值与设定值

2）GB/T 18177—2008 中提出可控渗氮工艺，不同渗氮工艺的氮势控制方法见表 2.17-3，缺少对设备的要求和具体控制参数。

表 2.17-3 GB/T 18177—2008 可控渗氮工艺方法、特点及适用范围

渗氮工艺		工艺方法	工艺特点及适用范围
可控渗氮	氮势定值控制可控渗氮	整个渗氮过程中氮势控制不变，根据氮势门槛值曲线的测定方法选择氮势控制值，控制表面化合物层的厚度。分为：无化合物可控渗氮、单相 γ′化合物可控渗氮	无化合物层的可控渗氮的渗层表面不形成化合物层，渗层的脆性很小，渗氮速度慢 氮势控制的设定值略高于氮势门槛值，获得单相 γ′化合物或 1～3μm 的薄化合物层。脆性明显小于常规渗氮，渗氮速度慢

（续）

渗氮工艺		工　艺　方　法	工艺特点及适用范围
可控渗氮	氮势定值控制可控渗氮	以氮势门槛值曲线为依据分段控制。在渗氮初期采用高氮势，由氮势门槛值曲线判断在高氮势下开始出现化合物层的时间，并在此时间之前将氮势降低到渗氮总时间对应的氮势门槛值	如每一段的保温时间略短于氮势门槛值曲线所对应的时间，可实现无白层可控渗氮，如适当延长高氮势和中氮势阶段的时间，使工艺曲线超过氮势门槛值曲线，则可实现单相 γ′化合物可控渗氮或带有薄化合物层的可控渗氮 分段控制可控渗氮，渗氮速度高于定值控制可控渗氮，略低于常规渗氮
		中间增加一段中等氮势的分段控制。在渗氮初期采用高氮势，在即将出现白层之前降至中氮势，待到又将出现白层之前，再将氮势降到渗氮时间相对应的氮势门槛值	
	动态可控渗氮	动态可控渗氮渗氮法将工艺过程分为二个阶段。在第一阶段尽可能提高气相氮势，一旦表面的氮浓度达到预先的设定值，立即转入第二阶段，令氮势按照“动态氮势控制曲线”连续下降，使表面氮浓度不再升高也不下降	具有良好的耐磨性

GB/T 18177—2008 中提出渗氮炉必须有完善的废气处理装置，不允许将含有氨的废气直接向大气中排放或直接点燃，可以将废气通过温度达 750℃以上并装有触媒的氨分解器，使废气中的氨充分分解之后再排放，或将废气通入水中使氨吸收之后排放。吸氨的水容器中的废水不得直接排放，应加入酸类进行中和处理，并对中和后产生的氨盐做回收处理。

二、标准应用说明

精密可控气氛渗氮以氨 + 氨分解气等为气源，通过氮势传感器、氮势控制仪和质量流量计等组成的氮势控制系统，运用集散式计算机系统控制技术和动态可控渗氮技术，实施对氮势的精确控制，从而精确控制渗氮层组织，实现对部件的精密渗氮。精密可控气氛渗氮技术在氮势控制、精密生产、节能减排及其设备研制上的创新，是对传统渗氮工艺的重大突破，符合现代先进热处理技术“更精、更省、更净”的发展趋势。

本标准编制原则：应具有先进性、实用性、可操作性，标准内容要全面、系统、简洁、明确。

1. 主要内容

1）设备要求包括渗氮设备的组成、规格型号、维修性等一般要求，渗氮炉的温度、气氛、密封和隔热、冷却装置要求，以及清洗机、装卸料机构、控制方面的要求。突出炉温均匀性要求和气氛控制要求。

2）可靠性包括设备故障分类和指标，以及主要设备、部件寿命。这既是生产实际经验的积累和总结，也体现了工业炉设计与制造的先进性。对该炉型生产具有重要指导意义。

3）工艺要求包括工艺类型、工艺规范、工艺过程要求三方面。重点是工艺规范和工艺过程要求。既体现了精密渗氮特色，又注意与其他相关标准的协调一致。

4）质量控制与检验质量控制主要按现行标准执行。质量检验包括检验项目和要求，以及检验方法。这部分注意采用相关国标、行业标准，既具体又实用。

5）安全卫生和环保要求主要是贯彻落实 GB 15735 的要求，补充了渗氮炉热处理特殊的安全卫生和环保要求。节能要求强调贯彻 GB/T 18718、GB/T 17538、GB/T 15318、GB/T 19944 等关于热

处理节能的相关标准。

2. 关键技术

精密可控渗氮技术的实现必须通过精密可控渗氮设备的运行来实现。精密渗氮设备首先要满足温度、气氛的控制要求，能做到炉内氮势碳势的精确自动控制。

精密可控渗氮炉突破了传统气体渗氮炉的设计模式，对炉内气体流场和温度场进行数值模拟，改进渗氮炉的内部结构；应用渗氮数学模型和计算机辅助预测进行最优化工艺的设计和实现；通过集散式热处理计算机控制系统，对温度、氮势和时间等进行智能化的最优关联控制，实现炉内动态氮势精确控制；同时能对尾气进行净化处理或二次利用，强化节能效果和洁净生产效果。

（1）炉膛结构的模拟设计。渗氮炉在较低温度范围内使用，对炉内气氛均匀性和炉温均匀性要求较高，炉内气体的流动和热量的传递比高温炉复杂，气氛和炉温均匀性常常难以保证。因此，如何改进炉内结构设计，以适应对炉内气氛和炉温均匀性的要求显得尤其关键。实践证明，应用FLUENT流体动力学分析软件，采用有限体积法对炉子进行模拟设计，各参数和设计理念都可以在计算机上提前模拟，进行数值试验，以更全面更有针对性地综合考虑各种因素，从而达到炉子结构的优化。

图2.17-4所示为设计后的各种精密渗氮炉结构。

1）气氛均匀性方面（炉内气体流场）的模拟。以复合式渗氮炉为例，在炉膛顶部设置若干导流板，通过计算机模拟了解炉内气体流动的状况。

从图2.17-5中炉体纵切面可以看出，与原始炉型相比，加入导流板以后提高了气体速度，也就是引导了气流更好地向下流动，避免产生更多的涡流而导致能量耗散，而且加入的导流板越多，导流效果就越好。因此，加入导流板对该炉工作区域内速度场有一定的改善。与此同时，对炉内的导流倒圆锥、导流十字板、圆台和格栅等构件对炉内气体流场的影响也进行了数字模拟。

2）温度均匀性方面的模拟。以炉内放置挡板位置对工件温度的影响为例进行数值模拟。

为了了解气体流动对工件传热的影响，设计了几种不同的挡板放置在工件顶部。工件依然放置在料盘上，加热体温度相同均为650℃，挡板厚度为20mm，模拟计算结果见表2.17-4。加入挡板可以显著提高工件温度的均匀性，挡板的存在阻挡了内筒上部热的气体直接吹到工件上，并使大量的热气体沿着工件侧面流动，对工件下部加热，如图2.17-6a所示；工件上部气体的温度较低，如图2.17-6b所示，结果使工件侧面上下温差减小到18℃，达到了很好的效果。

模拟结果表明，不同的风扇转速对炉温均匀性影响不大。在炉内满料的理想状态下，分别从辐射、传导和对流3种加热方式上寻找影响工件温度均匀性的因素。结果发现，从辐射传热角度出发，要想提高工件温度均匀性，加热体与炉膛的最大温差要达到200℃，但该方案不推荐使用；从传导传热角度来分析，把工件提升300mm，按照加热体温度均为650℃计算，从内罩内的温度模拟云图来看，工件内温度梯度仍然十分明显，且从工件侧面温度差比不提升工件时的值还大。工件提升后整体温度虽然有所升高，但与工件下部相比上部温度增加很多，导致温度差反而增大，这可能是由于工件上部处在内筒的涡流区，从加热体流过来的热的气体在那里停留，加热工件上部，使那里温度很高，所以提升工件的方案并不能有效改善工件温度的均匀性；而且传导传热并不是影响工件温度梯度的主要因素。从对流传热角度来分析，通过加入挡板来阻隔热气体直接吹到工件上部的方法，引导更多的热气体沿工件侧面流向工件下部进行加热，能较好地缩小工件内部温度差。由此得知，在渗氮炉内工作区域在500℃左右的范围内，对流加热是影响工件温度均匀性的重要因素。最终，决定设计一组挡板作为炉子附件。

通过以上的模拟设计，最终设计完成的渗氮炉的炉温及气氛均匀性能够满足精密渗氮的要求。

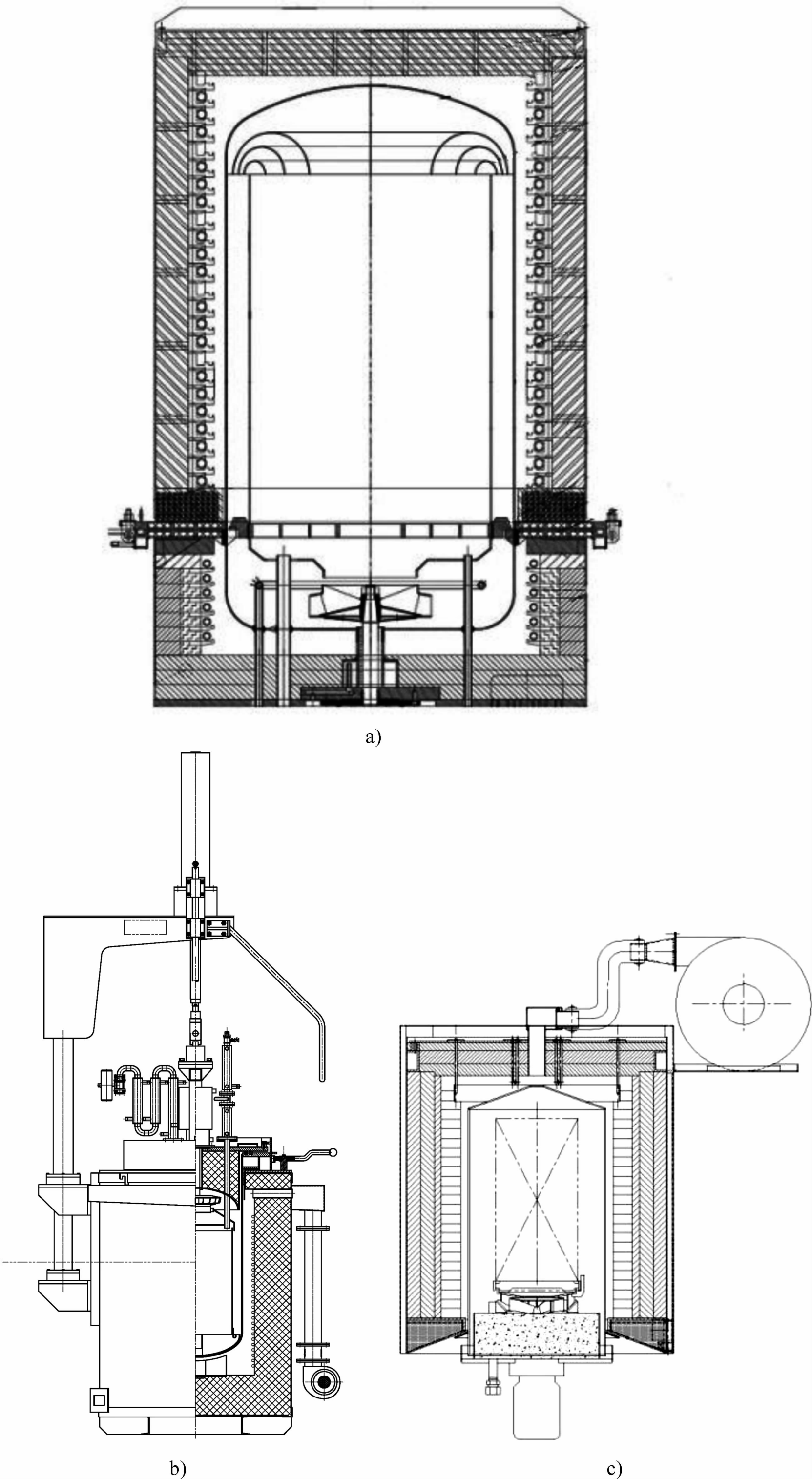


图 2.17-4　各种精密气体渗氮炉结构示意图

a）复合式渗氮炉　b）井式渗氮炉　c）底装料式渗氮炉

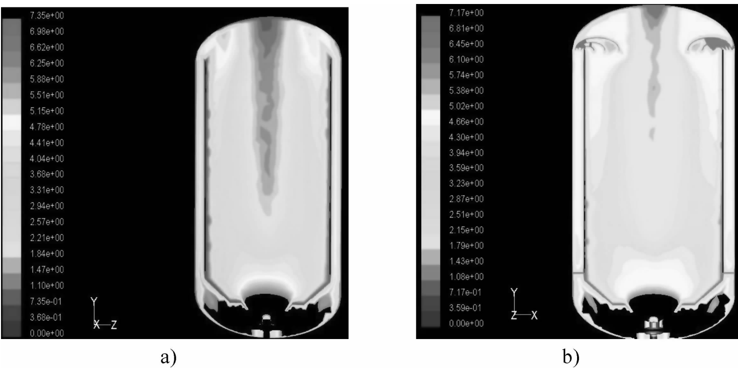


图 2. 17-5　复合渗氮炉工作区域中心 *X-Y* 平面速度云图

a）原始炉型　b）加入导流板后

表 2. 17-4　挡板对工件侧面温度的影响

状态	挡　　板	最低温度/℃	最高温度/℃	温度差/℃
1	无	491	524	33
2	半径等于工件半径，距离工件顶部 20mm	505	523	18
3	半径增大 40mm，距离工件顶部 20mm	505	519	14
4	半径增大 40mm，距离工件顶部 60mm	504	525	21

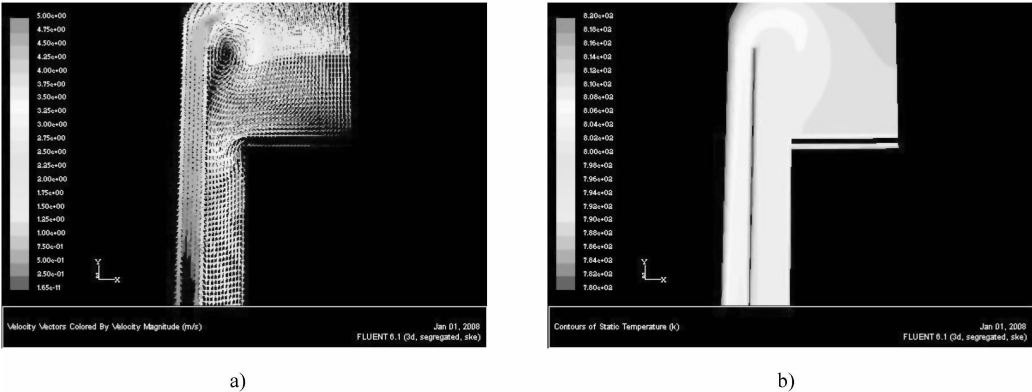


图 2. 17-6　加入挡板后内罩 *X-Y* 平面速度矢量图和平面温度云图

a）平面速度矢量图　b）平面温度云图

（2）精密可控气氛渗氮系统组成。精密可控气氛渗氮炉组成框图如图 2. 17-7 所示。

（3）炉体结构。炉体采用全纤维板保温结构，确保炉子的保温性能优异，炉罐及炉罐内所有受热金属材料采用 Inconel 600 镍基高温合金制造。炉盖与炉罐之间的密封采用两道密封，炉盖与炉罐采用水冷结构以保护橡胶密封圈的正常使用；炉盖锁紧采用齿轮锁紧结构或手轮锁紧结构，确保密封可靠并具有足够的耐压强度。

炉内气体循环结构采用导风筒、底部莲花托盘、上部导风板等组成的结构。循环风扇为离心式，强制炉气先由导风筒外壁与炉罐内壁之间向下流动并通过底部莲花托盘再由导风筒内部向上循环，以保证炉膛内部温度和渗氮气氛的均匀性。

井式渗氮炉所具有抽真空结构系为满足低压脉冲渗氮工艺而设计，氢探头具备自密封性能，进

行脉冲渗氮抽真空时，可以将氢探头隔离保护起来。

渗氮炉具备快速冷却结构和不锈钢渗氮的预氧化功能和钝化膜去除剂的通入孔。

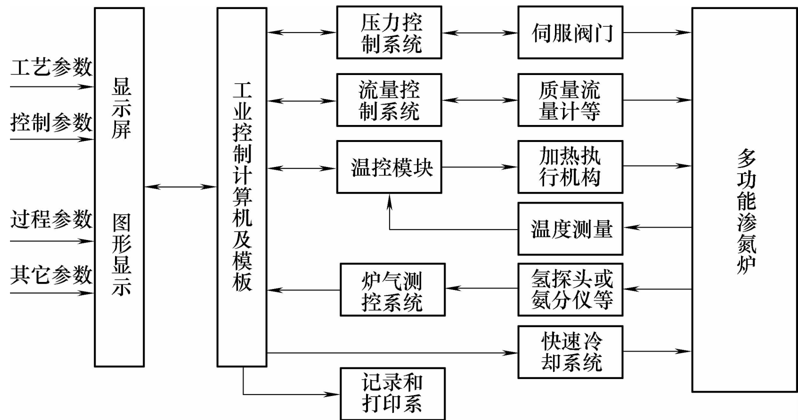


图 2.17-7　精密可控气氛渗氮炉组成框图

（4）控制系统和供气系统。目前在氮势控制方面，国产的氢探头、气体分析仪在质量稳定性方面还不能满足用户的需要，渗剂流量控制目前采用的玻璃转子流量计或电动执行阀无法满足精密渗氮的需要。根据加拿大 McMaster 大学 Jerome Darbellay 研究表明，分析排出气体的氢气含量误差为 2%（体积分数），转化成 K_N 值误差大约为 20%，一般的电动执行阀精度约为 4%，无法满足 K_N 值的控制精度。对氢气含量测量偏差要小于 2%（体积分数）时才能满足 AMS2759/10A 和 AMS259/12A 标准对 K_N 值控制精度的要求，需采用质量流量计（MFC）进行控制。目前多采用德国、法国、美国进口的质量流量计，控制精度≤1%，国产质量流量计稳定性和寿命还有待提高。对于氮碳共渗，还要求配置碳势测量装置，渗氮温度一般为 500～650℃，在此温度区间能测量碳势的装置国内还不多，国外品牌已有此类低温碳势测量装置并应用到氮碳共渗工艺自动控制当中。

采用的渗氮气氛控制系统能对炉气的氮势碳势值进行精确测量和控制。控制软件具有工艺文件的显示、编辑、存储及备份功能。

氨裂解炉用于提供调整氮势所需的稀释气体，通入炉内的氨气、氨裂解气采用进口质量流量计进行精密流量控制，通入炉内的氨气采用高精度玻璃转子流量计控制。

（5）尾气的环保排放。渗氮处理排出的废气多被引入一个尾气处理炉内，将排出的废气进行再次裂解，将残余废气的氨气转换为氢气和氮气，从尾气出口燃烧排放。尾气排放口的烧嘴在炉子使用状态下保持点燃状态，若熄灭有故障显示。

3. 标准的创新点

（1）本标准是新制定的标准，标准主要规定了精密可控渗氮或碳氮共渗工艺的实施方法，使得渗氮层组织由原来的不可控（或不能精确控制）转为可精确控制，可做到无白亮层渗氮或只有 γ′相渗氮，这在原来的渗氮工艺中是无法实现的。

（2）本标准在安全卫生和环保方面对渗氮工艺排出的废气要进行处理，通过增加尾气处理装置以达到环保排放。

（3）标准条项的说明

1）标准中第 4 章设备要求，是对精密气体渗氮炉各项要求的概括，渗氮炉可能是单台炉，也可能是渗氮炉、冷却装置、清洗机和装卸料机构等组成的复杂生产线，既全面、概括，又很明确清晰。

2）4.1.2 条，渗氮炉规格型号表示方法比较多，最常见的是以结构型式和有效加热区尺寸表示。

3）4.2.1.3 条，有效加热区的炉温均匀性测定明确按 GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》检测，因为这个标准更符合热处理工艺要求；没有推荐 GB/T 10066.1 和 GB/T 10066.4《电热设备的试验方法》中的测试方法，因为其要求较低，不太符合热处理要求。渗氮炉有效加热区炉温均匀性和控制精度要求，参照国内外精密渗氮炉标准及合同和实测值提出。

4）4.2.2.3 条，氮势控制精度以氨分解率波动来衡量，应控制在 ±1.5% 以内，未按实际的氮势提出控制精度。

5）4.2.2.3 条，渗氮炉的表面温升规定，参照 GB/T 10067.4《电热设备基本技术条件　第 4 部分　间接电阻炉》提出。

6）6.2 条，关于渗氮炉热处理工艺规范，分别参照 GB/T 18177—2008《钢件的气体渗氮》和 HB/Z 79—1995《航空结构钢及不锈钢渗氮工艺说明书》相关要求提出，同时融入了美国 AMS2759/10A 对白亮层分级的要求。

7）本标准对渗氮炉生产的可靠性专门单列 1 章（第 5 章），强调对设备使用的可靠性和寿命指标的要求，针对性强，对该炉型生产厂和使用单位都具有重要指导意义。

8）第 7 章条质量控制和第 8 章条安全卫生要求，分别按 AMS 2759/10A《氨势控制的自动气体渗氮》和 GB 15735《金属热处理生产过程安全卫生要求》的相关规定执行。

9）根据美国宇航材料规范 AMS 2759/10A《氮势控制的自动气体渗氮》，本标准在控制白亮层的分段可控渗氮工艺中，推荐了氮势（K_N）的参考值。（广东世创金属科技股份有限公司董小虹供稿）

三、标准内容（GB/T 待批）

精密气体渗氮热处理技术要求

1　范围

本标准规定了精密气体渗氮的设备要求、设备可靠性要求、工艺要求、质量控制与检验、安全卫生和环保要求，以及节能要求。

本标准适用于钢件精密气体渗氮。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 230.1　金属材料洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）

GB 536　液体无水氨

GB/T 4340.1　金属材料维氏硬度试验　第 1 部分：试验方法

GB 5959.1　电热装置的安全　第 1 部分：通用要求

GB 5959.4　电热装置的安全　第 4 部分：对电阻加热装置的特殊要求

GB/T 7232　金属热处理工艺　术语

GB/T 8979　纯氮、高纯氮和超纯氮

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.4　电热设备的试验方法　第 4 部分：间接电阻炉

GB/T 10067.4　电热装置基本技术条件　第4部分：间接电阻炉

GB/T 11354　钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验

GB/T 15318　工业热处理电炉节能监测方法

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

GB/T 18177　钢件的气体渗氮

GB/Z 18718　热处理节能技术导则

GB/T 19944　热处理生产燃料消耗计算和测定方法

GB/T 27946　热处理工作场所空气中有害物质的限值

GB/T 30825　热处理温度测量

3　术语和定义

3.1　精密气体渗氮　accuracy-controlled gas nitriding

通过氮势传感器、氮势控制仪和质量流量计等组成的氮势控制系统，对氨及氨分解气等气源的渗氮实施精确控制氮势的可控气体渗氮。

3.2　氮势传感器　nitrogen potential sensor

测量气体渗氮炉中炉气氮势的仪表，包括氢分析仪、氢探头、氨红外分析仪等。

3.3　氢分析仪　hydrogen analyser

根据氢比氧、氮等其他气体具有较高热导率的特性，按热导率原理制成的测量渗氮气氛中氢含量的仪表。

3.4　氢探头　hydrogen probe

包括热导式氢探头和分压式氢探头。热导式氢探头就是热导率特性制成的小型化仪表；分压式氢探头是利用氢易于穿透特质膜的特性，测量特质膜管内氢分压，从而测量渗氮气氛中氢含量的仪表。

4　设备要求

4.1　一般要求

4.1.1　渗氮设备的组成

渗氮设备可以是单台渗氮炉，也可以是渗氮炉生产线。渗氮炉可以是井式炉、密封箱式炉、底装料立式炉、罩式炉等。冷却装置可以是单独冷却装置，也可以是渗氮炉内直接气冷。加热方式一般为电或燃料加热。渗氮炉生产线主要由渗氮炉、冷却装置、清洗机、装卸料机构、备料台、气氛系统和控制系统等组成。

4.1.2　规格型号

精密渗氮设备的规格型号通常以结构型式和有效加热区尺寸表示。

4.1.3　设计和制造

渗氮设备设计和制造应符合 GB 5959.1、GB 5959.4、GB/T 10067.4 的规定。

4.1.4　设备维修性

精密渗氮设备应具有良好的维修性，方便更换损坏的零件和机构。如炉罐、导风筒、加热元件、热电偶、氮势传感器、风扇等容易更换，以适应渗氮工艺长时间连续生产的特点。采用计算机控制及管理系统的渗氮设备一般应具有设备故障自诊断功能。

4.2　渗氮炉

4.2.1　温度

4.2.1.1　渗氮炉的最高温度一般为700℃。

4.2.1.2　渗氮炉一般采用多区控制加热、合理设置循环风扇和导风装置，以保证炉温均匀性和气氛均匀性。

4.2.1.3　有效加热区的炉温均匀性和控温精度应根据工件的热处理要求合理选择，见表1。有效加热区的炉温均匀性应按 GB/T 9452 的规定测定。炉子应具有专门的炉温均匀性测试孔。

表1　渗氮炉炉温均匀性和控温精度要求

工件类别	炉温均匀性/℃	控温精度/℃
重要件	±5	±1
一般件	±8	±1

4.2.1.4　渗氮炉一般采用多区控制加热、合理设置循环风扇和导风装置，以保证炉温均匀性和气氛均匀性。

4.2.2　气氛

4.2.2.1　炉内气氛应是可控气氛。渗氮气氛由渗氮剂（氨）和载气（氨分解气）组成，氮气为保护气。载气及渗氮剂进入炉内应通过流量计计量，并通过质量流量计进行调节和控制。氨分解气的分解率应≥99%（体积分数）。

4.2.2.2　精密气体渗氮炉采用氮势传感器、氮势控制仪和质量流量计等组成的氮势控制系统控制，应配置有指示、控制和记录炉气氮势的仪表，其仪表的类型和精度原则上应与相应的温度仪表要求相匹配。

4.2.2.3　氮势控制精度以氨分解率波动来衡量，应控制在±1.5%以内。炉子应设有氨分解率测定装置，用于氮势控制精度检验和氨分解气分解率检验。氮势与氨分解率的关系见附录A。

4.2.2.4　炉内构件和料具应采用抗渗氮耐热钢。不应对渗氮气氛的稳定产生有害影响。

4.2.2.5　精密气体渗氮炉有效加热区内渗氮有效硬化层深度均匀性应符合表2规定，检测方法按 GB/T 11354 的规定。

表2　精密气体渗氮炉有效硬化层深度均匀性要求　（单位：mm）

渗氮层深度	≤0.1	>0.1~0.2	>0.20~0.45	>0.45
有效硬化层深度偏差	±0.01	±0.025	±0.035	±0.05

4.2.3　密封和隔热

4.2.3.1　渗氮炉应有良好密封性，炉内气氛不应有泄漏现象。炉膛内压力应保持稳定正压，并可以控制和调节、指示和记录。

4.2.3.2　渗氮炉炉门、炉盖、炉罩等一般采用水冷耐热耐腐橡胶圈密封。

4.2.3.3　渗氮炉的表面温升按 GB/T 10066.4 方法测定，并应符合表3要求。

表3　表面温升要求　（单位：℃）

炉子部位	炉壳表面	操作手柄或手轮
表面温升	≤45	≤25

4.2.4　冷却装置

4.2.4.1　冷却装置一般采用炉罐外壁和炉体之间鼓风的炉内直接冷却方式，或同时向工件吹高纯氮气或采用炉气炉外换热器换热冷却方式。冷却过程中应防止工件被氧化。

4.2.4.2　井式炉冷却可采用将工件连同炉罐吊至冷却坑中吹风冷却或缓冷的方法。

4.2.4.3　罩式炉冷却可采用将渗氮炉加热炉体移走，再罩上一个冷却罩，在冷却罩和炉罐之间鼓风或喷水雾冷却。

4.2.4.4　底装料立式炉冷却可采用将工件放入专用气冷槽内冷却。

4.2.5　其他要求

炉子应设置试样取样装置，方便取样，并有防止校准试样发生氧化的措施。

4.3　清洗设备

4.3.1　清洗机根据所选用清洗剂的不同，可以分为水基清洗机和溶剂清洗机。

4.3.2　清洗机要能够去除油污、污物、切屑等污染物，并有吹（烘）干功能。

4.3.3　清洗机应设有废油回收装置和废水、废液处理系统。

4.4　装卸料机构

装卸料机构应确保运行可靠。可以自动装卸料，也可以手工装卸料。装卸料机构必须设置安全防护装置。

4.5　供排气系统

4.5.1　进气系统包括氨气、氨分解气、氮气等气体组成的供气通道及相应装置。每一种气体进气管路都应配置截止阀、减压稳压阀、压力计、流量计等。流量计规格应与实际使用量相匹配。

4.5.2　供气管路应以不同颜色或标牌清楚标识。对于有腐蚀性的气体（如氨）管路和阀门应采用不锈钢制品，密封垫应采用耐腐蚀材料。管路内壁应清理干净，无污垢和杂质，密封良好，不应有泄漏现象。

4.5.3　氨气进气管路应设置干燥装置，去除气氛中水分，使水分含量≤0.01%，并采取措施保证供气压力稳定。

4.5.4　排气系统设有排气量控制装置，以控制炉压可调和稳定，保证排气顺畅。

4.5.5　炉内残余废气可采取加热的方式裂解成氢和氮后点燃排出，也可采用燃气火焰将废气点燃排放等方法，使处理后的废气符合 GB/T 27946 和其他环保规定要求。

4.6　控制系统

4.6.1　加热炉的控制系统应符合 GB/T 9452 对设备和仪表的要求。

4.6.2　每个加热区内至少有两支热电偶，安装在接近有效加热区处，一支接温度记录仪器，另一支接控温仪器，其中一个仪表具有报警功能。

4.6.3　精密气体渗氮设备应采用氮势传感器、氮势控制仪和质量流量计等组成的氮势闭环控制系统，对氨＋氨分解气为气源的渗氮工艺实施精确控制。

4.6.4　控制系统一般应能指示、控制和记录温度、氮势及工艺过程，以实施对温度、气氛、时间、动作等的控制。

4.6.5　当渗氮热处理工艺要求较高时，一般应采用计算机控制及管理系统。对温度、时间、氮势、炉压等工艺参数依工艺要求实现自动控制，具有工艺全过程的监测、记录、存储、修改、编辑，故障自诊断、报警、记录等功能。

5　设备可靠性要求

5.1　渗氮设备故障分类

一类故障　在生产中出现的必须停炉检修的故障。

二类故障　在生产中出现的可在不影响生产的情况下修复的故障。

三类故障　在生产中出现的，属于元器件质量，安装问题或运行不顺畅，经更换或调整即可解决的故障。

对于易耗件的正常失效和更换等不视为故障。

5.2　渗氮设备可靠性指标

5.2.1　在 6 个月内不得出现因设计、制造质量原因引起的一类故障。

5.2.2　在3个月内不得出现因设计、制造质量原因引起的二类故障。

5.2.3　在1个月内三类故障不得超过三次。

5.2.4　在正常使用情况下，炉罐、加热元件寿命一般不低于2年。

5.2.5　在正常使用情况下，加热炉炉衬的大修期一般不短于5年。

6　工艺要求

6.1　工艺类型

渗氮工艺分为定值可控渗氮、分段可控渗氮、氮势门槛值控制渗氮、动态可控渗氮。具体工艺见GB/T 18177可控渗氮。

6.2　工艺规范

6.2.1　渗氮的预备热处理、防渗、试样等应符合GB/T 18177的规定。

6.2.2　根据工件材质、热处理工艺特点和质量要求等，合理确定加热炉有效加热区的温度均匀性和控温精度要求。

6.2.3　根据工件的特征（材料牌号、处理前的状态、形状和尺寸以及后续加工工序等）、热处理技术要求、批量及设备条件等，制定合理的热处理工艺，渗氮温度一般为490～560℃。根据选用渗氮类型确定合理精确氮势控制。精密可控渗氮主要是控制有无白亮层的深度，一般分为三级：无白亮层；白亮层≤0.013mm；白亮层≤0.025mm。控制白亮层分段可控渗氮的氮势（K_N）推荐参考值见附录B。

6.3　工艺过程要求

6.3.1　工件

6.3.1.1　工件材料可为碳素钢、合金钢、工模具钢、不锈钢等，常用钢种见GB/T 18177有关规定。工件材料的化学成分等要求应符合有关标准规定。

6.3.1.2　工件状态及预备热处理后的组织和性能应符合精密渗氮要求，预备热处理的回火或时效温度应高于渗氮温度30℃。

6.3.1.3　工件形状、尺寸、数量应符合要求，外观无裂纹、伤痕、锈斑等缺陷，待渗氮表面的表面粗糙度一般不大于0.8μm。

6.3.2　清洗

入炉前对工件进行清理和清洗，去除油污、污物、切屑等污染物，并应吹（烘）干。清洗过程不能对工件表面产生有害影响。

6.3.3　局部渗氮件非渗表面防护

6.3.3.1　非渗表面可采取镀层防护法、留加工余量防护法、涂料防护法、塞孔法等防止渗氮。

6.3.3.2　对结构钢可采用镀锡或镀铜防护，不锈钢可采用镀铜、镀镍防护。镀铜厚度应≥0.025mm，镀锡厚度应≥0.0127mm。

6.3.3.3　留加工余量防护法一般加工余量为渗层深度1.5～2.0倍。

6.3.3.4　防渗涂料对工件的防护方法按有关技术文件进行。符合精密渗氮要求。

6.3.3.5　对于盲孔、深孔件可用石英砂灌满孔腔，再用锥形铜塞或铝合金螺栓防护。

6.3.4　装炉

6.3.4.1　装炉应保证工件处于有效加热区范围内，工件排布和间隔应满足炉气循环畅通的要求。

6.3.4.2　渗氮工件的渗氮面应设法避免或减少互相接触。

6.3.5　渗氮

6.3.5.1　渗氮加热设备应符合4.1和4.2规定。

6.3.5.2　氨气应符合GB 536优等品的规定。氮气应符合GB/T 8979纯氮级要求。

6.3.5.3　根据工件材料、技术要求、生产批量等合理选择渗氮炉各区的温度、氮势或由计算机自动生成工艺。

6.3.5.4　通过对先期试件的检查，合理确定渗氮工艺参数和过程控制。

6.3.5.5　通过核验试样，修正渗氮工艺参数和过程控制。

6.3.6　冷却

6.3.6.1　冷却装置应符合4.2.4规定。

6.3.6.2　根据工件材料、技术要求、生产批量等合理选择冷却装置。

6.3.6.3　通过先期试件和核验试样检查，合理确定和调整冷却参数。

6.3.6.4　冷却时应防止工件之间的碰磕，减少变形；冷却后工件应光亮或呈银灰色，表面颜色均匀一致。一般应冷却至150℃以下后出炉。

6.3.7　过程执行情况记录

对温度、时间、氮势等工艺参数应按规定作必要记录，并予以保存，必要时应得到有关人员的确认。

7　质量控制与检验

7.1　质量控制

热处理质量控制应符合GB/T 30825和本标准的规定。

7.2　质量检验

7.2.1　外观

工件表面应无裂纹、伤痕及锈斑，表面光亮，颜色均匀，表面质量满足产品和后续工序的要求。

7.2.2　硬度

7.2.2.1　渗氮件的表面硬度和心部硬度应符合图样要求，表面硬度偏差值应不低于GB/T 18177的要求。

7.2.2.2　硬度测试方法应符合GB/T 230. 1或GB/T 4340.1的要求，按工艺文件规定执行。

7.2.3　硬化层深度

渗氮件硬化层深度应符合图样要求，其偏差值应符合GB/T 18177有关规定。硬化层深度的测试方法应符合GB/T 11354的规定。

7.2.4　金相组织

渗氮件的金相组织应达到图样和技术要求的组织要求，其检验方法按GB/T 11354的规定。白亮层深度按6.2.3和图样要求执行。

7.2.5　畸变量

渗氮件的畸变量应符合图样或技术条件要求。

7.2.6　其他

根据产品要求，可对相应试样做拉伸、弯曲、冲击、扭转、耐磨性和耐蚀性等项目的检测。

8　安全卫生和环保要求

8.1　安全卫生要求应符合GB 15735、GB 5959.1、GB 5959.4的规定。渗氮热处理生产中产生的废水、废液、废气、废渣等应采取措施收集和处理，不应对环境造成不良影响。

8.2　渗氮炉产生的废气排放应符合4.5.5的规定。

8.3　清洗机必须设有油水分离装置，以保证清洗油污分离和回收。

8.4　所有机械传动裸露部分和电器接头裸露部分均应安装防护罩，并保证通风良好。

8.5　设备发生故障或工艺参数偏离时，应发出声光报警，并应及时排除故障。

8.6　生产过程中发生停电、停水、停气等意外事故时，设备应有相应的安全措施，以保护人员、设备和工件的安全。

8.7　在所有可能造成人员伤害的地方设置警告牌。

8.8　化学危险品应存放在专用库房中，设置明显警示标牌，并妥善保管和安全使用。

9　节能要求

9.1　渗氮过程应符合 GB/Z 18718 的规定。

9.2　渗氮设备电耗应符合 GB/T 17358 的规定。

9.3　渗氮生产电耗和燃料消耗应符合 GB/T 15318 和 GB/T 19944 的规定。

附　录　A

（资料性附录）

氨 + 氨分解气渗氮时氮势与氨分解率对照表

表 A.1 给出了氨 + 氨分解气渗氮时氮势与氨分解率对照表。

表 A.1　氨 + 氨分解气渗氮时氮势与氨分解率对照表

序号	氨分解率 V	氮势 K_N ①	序号	氨分解率 V	氮势 K_N ①
1	0.10	43.8178	6	0.60	1.3251
2	0.20	13.7706	7	0.70	0.7887
3	0.30	6.5588	8	0.80	0.4303
4	0.40	3.6515	9	0.90	0.1803
5	0.50	2.1773	10	0.95	0.0831

① $K_N = \frac{1-V}{(0.75V)^{1.5}}$

附　录　B

（资料性附录）

控制白亮层分段可控渗氮的氮势（K_N）推荐参考值

表 B.1 为控制白亮层分段可控渗氮的氮势（K_N）推荐参考值

表 B.1　控制白亮层分段可控渗氮的氮势推荐参考值（K_N）

钢种	无白亮层		白亮层≤0.013mm		白亮层≤0.025mm	
	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
渗氮钢	4~12	0.3~0.8	4~12	0.6~1.8	6~15	1.2~2.6
中碳合金钢	4~12	0.25~0.7	4~15	0.6~2.6	4~15	1.2~4.5
模具钢	5~15	0.3~0.8	5~15	0.4~0.9	5~15	2.2~5.5
不锈钢	5~15	0.2~0.7	5~15	0.4~0.9	—	—
碳钢	—	—	5~12	0.8~2.6	1.2~4.0	—

第十八节　钢铁件的气体氮碳共渗

一、概论

钢铁件经氮碳共渗工艺处理后能获得较好的耐磨性、耐蚀性、抗粘附性及疲劳强度等性能。由

于该工艺具有处理温度低、时间短、畸变小、适应钢种广等优点，因此该工艺得到很大的发展。气体氮碳共渗工艺可在控制气氛炉内实施，可实现自动化控制和连续生产，现已成为我国可控气氛热处理生产技术之一。

从收集到国外相关标准中可看到，主要是品质标准、名词术语及机械产品标准附带的热处理技术条件，而属于热处理工艺标准的不多。日本 JIS B 6915：1999《钢铁的渗氮和氮碳共渗》为较全面的工艺标准，但其涉及两方面的工艺内容：渗氮及氮碳共渗。该标准也分两部分叙述。美国军标 MIL《气体渗氮、盐浴渗氮》，品质控制十分严格，可作为参考。

我国从 20 世纪 80 年代起先后制定过相应的行业标准：JB/T 4155—1985《气体氮碳共渗工艺》，于 1999 年修订；QJ 2539—1993《化学热处理　钢的气体氮碳共渗》。目前这些标准已不适应当前的工艺及装备发展的水平，因此，有必要制定国家标准，推动我国氮碳共渗工艺水平的发展。

在本标准制定过程中，引入日本 JIS B 6915 中的气体氮碳共渗的部分内容，在钢材、渗剂、设备、工艺等方面内容结合我国实际情况有所改动。同时，在编写中也采用了我国原 JB/T 4155—1999《气体氮碳共渗》中的部分技术内容。本标准将原先的行业标准转换为国家标准，完成于 2008 年。标准中一些技术参数修改采用于 JIS B 6915：1999《钢铁的渗氮及氮碳共渗》。

二、标准应用说明

1. 范围

本标准规定了钢铁件在含氮、碳的气体介质中进行氮、碳共渗的常用材料、设备、工艺、检验及安全卫生等要求。

本标准适用于钢铁件的气体氮碳共渗处理。

2. 术语和定义

与原 JB/T 4155—1999 相比，本标准增加了相关的术语和定义，如待氮碳共渗件、氮碳共渗件、氮碳共渗层等。

3. 工艺分类代号

与原 JB/T 4155—1999 相比，本标准增加了气体氮碳共渗工艺分类代号，其代号为：534-01。

4. 待氮碳共渗件

与原 JB/T 4155—1999 相比，本标准增加了待氮碳共渗件原始状态记录、工件处理前外观状态记录等内容，增加的内容基本等效采用日本 JIS B 6915：1999 中相关的要求（见标准中的表 2、表 3）。增加这些内容的目的是了解和掌握待氮碳共渗件的原始状态，保证氮碳共渗处理的品质。

5. 气体氮碳共渗设备与工艺材料

（1）有效加热区温差。原 JB/T 4155—1999 中规定炉内有效加热区温差不超过 ±15℃；日本 JIS B 6915—1999 规定有效加热区温差不超过 ±10℃。对于有效加热区温差技术指标的确定，在标准制定过程中进行了讨论，为了提高钢铁件气体氮碳共渗的品质及目前我国设备制造能力的提升，并参照日本 JIS B 6915：1999，在本标准规定了炉内有效加热区温差不应超过 ±10℃。

（2）仪表所指示的温度总误差。原 JB/T 4155—1999 中规定在预定的处理温度范围内，仪表所指示的温度总误差不得超过 ±15℃；日本 JIS B 6915：1999 中仪表所指示的温度总误差在≥400℃条件下为 ±T/100℃，是一个变量，若处理温度为 540℃，总误差为 5.4℃，若处理温度为 570℃，总误差为 5.7℃。对于仪表所指示的温度总误差技术指标的确定，在标准制定过程中进行了讨论，为了提高钢铁件气体氮碳共渗的品质及目前我国设备制造能力的提升，本标准规定了仪表所指示的温度总误差不应超过 ±3℃，其精度要求超过日本 JIS B 6915：1999 的技术要求。

（3）常用渗剂。与原 JB/T 4155—1999 相比，本标准增加了“渗剂的技术指标应符合 JB/T

9209《化学热处理渗剂 技术要求》”及“氨气品质应符合 GB 536—1988《液体无水氨》一级品的要求”的相关技术内容。

6. 气体氮碳共渗工艺

原 JB/T 4155—1999 中规定常用共渗温度为 540～570℃，保温时间为 2～4h。在此温度和保温时间的处理条件下，工件已基本满足技术条件。但为了扩大气体氮碳共渗的适应性和相关试验的验证，本标准将常用共渗温度调整为 520～570℃，保温时间仍为 2～4h。

7. 后处理

与原 JB/T 4155—1999 相比，本标准增加了“对容易产生氢脆的材料，在氮碳共渗结束后应进行去氢处理”的要求，其目的是降低或消除氮碳共渗后的氢脆问题。

8. 品质要求及品质检验

（1）表面硬度及允许偏差值。原 JB/T 4155—1999 中只规定了表面硬度的要求，对表面硬度的允许偏差值没有提出技术要求。日本 JIS B 6915：1999 中没有表面硬度的要求，但规定了表面硬度允许偏差值的技术要求。对于表面硬度的要求，本标准采用原 JB/T 4155—1999 中规定的表面硬度技术指标（见标准中表 4）。对于表面硬度允许偏差值的技术要求，基本等效采用日本 JIS B 6915：1999 中的表面硬度允许偏差值的技术要求：≤500HV 表面硬度的允许偏差值等同于 JIS B 6915：1999 标准；＞500HV 表面硬度允许偏差值比日本 JIS B 6915：1999 标准更小（见标准中表 5）。

（2）化合物深度及允许偏差值。化合物深度牵涉到氮碳共渗的品质，太薄，降低耐磨性、耐蚀性、抗粘附性等性能，太厚，会出现渗层剥落、疏松及脆裂等现象。原 JB/T 4155—1999 对化合物深度范围有所规定，但对化合物深度允许偏差值没有具体规定；日本 JIS B 6915：1999 对化合物深度范围没有规定，但对化合物深度允许偏差值有具体规定。本标准对化合物深度范围要求采用原 JB/T 4155—1999（见标准中表 6）；对化合物深度允许偏差值要求等效采用日本 JIS B 6915：1999 标准（见标准中表 7）。

（3）渗层深度及允许偏差值。原 JB/T 4155—1999 只对扩散层提出要求，日本 JIS B 6915：1999 没有扩散层要求，但对渗层深度及允许偏差值有所规定。本标准对氮碳共渗的扩散层的要求采用原 JB/T 4155—1999 的技术指标（见标准中表 6），对渗层深度允许偏差值要求等效采用日本 JIS B 6915：1999 标准（见标准中表 7）。

（4）硬度检验。本标准规定了氮碳共渗件的表面硬度检验方法按 JB/T 6050 或其他技术上约定的硬度检验方法进行。

（5）渗层深度检验。本标准规定了氮碳共渗层深度的检验方法应符合 GB/T 11354 的规定。

9. 金相组织

原 JB/T 4155—1999 只对化合物疏松进行评级。本标准则规定了金相组织的验收标准应当由合同双方协商确定。金相组织的检验按 GB/T 11354 的规定进行。

10. 试样检验和检验设备

本标准增加了试样的选取原则和检测设备管理要求。

11. 能源消耗要求

为了节省能源，本标准增加了气体氮碳共渗的能源消耗定额应符合 GB/T 17358 及 GB/T 19944 的有关规定的要求。

12. 安全卫生与劳动保护要求

氮碳共渗处理工程中，会对环境造成污染，特别是 HCN 的危害最大。在标准审核过程中，对 HCN 含量的确定有过争论。有的专家认为按国家有关规定确定，即 HCN 含量不得超过 0.3mg/m^3；有的专家认为，对环境保护应该从严，HCN 含量不得超过 0.2mg/m^3。最后一致认为，对环境保护

应该从严。因此，本标准规定了气体氮碳共渗炉的排气口旁、炉门（炉口）旁以及炉子周围与上方的 HCN 含量不得超过 $0.2mg/m^3$。气体氮碳共渗过程的安全卫生、劳动保护及环境品质要求应符合 GB/T 15735 及 GB 3095 的有关规定。（上海市机械制造工艺研究所有限公司蔡红、陈德华供稿）

三、标准内容（GB/T 22560—2008）

钢铁件的气体氮碳共渗

1　范围

本标准规定了钢铁件在含氮、碳的气体介质中进行氮、碳共渗的常用材料、设备、工艺、检验、能源消耗、安全卫生等要求。

本标准适用于钢铁件的气体氮碳共渗处理。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 536—1988　液体无水氨

GB/T 699　优质碳素结构钢

GB/T 700　碳素结构钢（GB/T 700—2006，ISO 630：1995，NEQ）

GB/T 1182　产品几何技术规范（GPS）　几何公差　形状、方向、位置和跳动公差标注（GB/T 1182—2008，ISO 1101：2004，IDT）

GB/T 1299　合金工具钢

GB/T 1348　球墨铸铁件

GB/T 3077　合金结构钢

GB 3095　环境空气质量标准

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

GB/T 9439　灰铸铁件

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 11354　钢铁零件　渗氮层深度测定和金相组织检验

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

GB/T 19944　热处理生产燃烧消耗计算和测定方法

JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度测试通则

JB/T 9209　化学热处理渗剂　技术条件

JB/T 9199　防渗涂料　技术要求

JB/T 9218　无损检测　渗透检测

JB/T 10175　热处理质量控制要求

3 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121、GB/T 13324 中确立的及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 待氮碳共渗件 parts for nitrocarburizing

机加工或再经适当的预备热处理后准备进行氮碳共渗的工件。

3.2 氮碳共渗件 nitrocarburized parts

完成气体氮碳共渗处理后的工件。

3.3 氮碳共渗层 nitrocarburzing layer

氮碳共渗处理形成的渗层，通常包含化合物层与扩散层。

4 工艺分类代号

气体氮碳共渗的工艺分类及代号应符合 GB/T 12603 的规定。工艺分类代号为：534-01。

5 待氮碳共渗件

5.1 常用钢铁材料

一般钢铁材料均可用氮碳共渗处理。常用钢铁材料见表 1。材料应符合相关标准要求。

表 1 常用钢铁材料

类别及标准号	钢及铸铁牌号
碳素结构钢(GB/T 700)	Q195、Q215、Q235
优质碳素结构钢(GB/T 699)	08、10、15、20、25、35、45、15Mn、20Mn、25Mn
合金结构钢(GB/T 3077)	
铬钢	15Cr、20Cr、40Cr
铬锰钢	15CrMn、20CrMn、40CrMn
铬锰硅钢	20CrMnSi、25CrMnSi、30CrMnSi
硅锰钢	35SiMn、42SiMn
铬锰钼钢	20CrMnMo、40CrMnMo
铬钼钢	15CrMo、20CrMo、35CrMo、42CrMo
铬锰钛钢	20CrMnTi、30CrMnTi
铬镍钢	40CrNi、12Cr2Ni4、12CrNi3、20CrNi3、20Cr2Ni4、30CrNi3
铬镍钨钢	18Cr2Ni4WA、25Cr2Ni4WA
铬钼铝钢	38CrMoAl
合金工具钢(GB/T 1299)	Cr12、Cr12MoV、3Cr2W8V、4Cr5MoSiV(H11)、4Cr5MoSiV1(H13)
灰铸铁件(GB/T 9439)	HT200、HT250
球墨铸铁件(GB/T 1348)	QT500-7、QT600-3、QT700-2

5.2 待氮碳共渗件原始状态记录

5.2.1 根据表 2 规定的项目记录待处理工件的原始状态并予以保存。

表 2 工件处理前的工艺状态记录

项　目	要　求
待处理工件的试验数据	
工件种类	
化学成分①	

（续）

项　　目	要　　求
炼钢炉号①	
力学性能试验数据①	
硬度试验数据①	
淬透性试验数据①	
金相组织检验记录①	晶粒度、脱碳层、非金属夹杂物、微观及宏观组织
烧结密度测试数据①	
待处理工件的制造方法①	
铸造	
锻造	包括冷锻、热锻，必要时注明锻造比
轧制	包括冷轧、热轧
挤压	包括冷挤压、热挤压
烧结	
机械加工	
冲压	包括冷弯曲、热弯曲及扭转
冷拔	包括冷拔、热拔
滚压成形	包括冷滚压、热滚压成形
焊接	焊接区及焊接方法
有无预备热处理	
退火	
正火	
调质	
固溶处理	
表明加工品质及矫正精度①	
切削方法及其条件	
磨削方法及其条件	
有无矫正	

①　对氮碳共渗处理无妨碍时可省略。

5.2.2　根据表3规定的项目记录待处理工件的外观、形状、尺寸及精度，并予以保存。

表3　工件处理前外观等状态记录

项　　目	备　　注
工件的外观	裂纹、伤痕、锈斑和黑皮等表面状态
工件的质量	
工件的形状①	用简图表示
特殊形状	
壁厚差异	
孔的形状与位置	

（续）

项　目	备　注
工件的尺寸及精度①	用简图表示
尺寸	
处理部位的加工余量	
整体工件的加工余量	
处理部位的表面粗糙度	
尺寸公差	
形状公差②	直线度、平面度、圆柱度、线轮廓度及面轮廓度
方向公差②	平行度、垂直度及倾斜度
位置公差②	同轴度、对称度及位置度

① 对氮碳共渗处理无妨碍时可部分省略或全部省略。

② 几何公差的定义依据 GB/T 1182。

5.3　待氮碳共渗件的验收

合同双方应对表 2、表 3 规定的项目进行确认和验收，必要时可按有关标准验收，并保存验收记录。

6　气体氮碳共渗设备与工艺材料

6.1　气体氮碳共渗炉

6.1.1　炉子温度可调节，有效加热区的测定应符合 GB/T 9452 的规定，其温度偏差不应超过 ±10℃。

6.1.2　炉子的气密性好，炉内气氛应循环良好。

6.1.3　工件在连续式气体氮碳共渗炉中的运行速度应能调节，进料炉门应装火帘。前室及后室应装有防爆装置。

6.1.4　炉内气氛可调，排气应充分燃烧。

6.1.5　炉子应配备防止超温装置。

6.2　测温及控温装置

6.2.1　测温及控温装置应符合 JB/T 10175 的规定。

6.2.2　周期式炉的加热室、连续式炉的每个加热区应配备各自的温度自动控制和记录装置。

6.2.3　在预定的处理温度范围内，仪表所指示的温度总误差不应超过 ±3℃。

6.3　设备的维修

设备应按规定定期检修，保持设备的正常状态，并保留其检修记录。

6.4　常用渗剂

渗剂的技术指标应符合 JB/T 9209 的规定。

6.4.1　含有氮、碳原子的有机化合物，如三乙醇胺、甲酰胺等这类渗剂可单一使用，也可与其他有机化合物同时使用。

6.4.2　以氨气为主，再添加醇类裂解气、二氧化碳、吸热型气氛、放热型气氛等任何一种气体。氨气品质应符合 GB 536—1988 一级品的要求。

7　气体氮碳共渗处理

7.1　处理前的准备

7.1.1　确认待氮碳共渗件的技术要求，包括氮碳共渗的部位、渗层深度、表面硬度及金相组织等。

7.1.2　用适当的方法去除待氮碳共渗件表面的油污及锈斑等。

7.1.3　局部氮碳共渗的待氮碳共渗件，应进行防渗处理，其防渗剂应符合 JB/T 9199 的规定。

7.1.4　对细长、薄壁及精密的待氮碳共渗件进行去应力处理。处理温度一般高于共渗温度 20℃，保持足够的时间，并采取防氧化措施。

7.1.5　选用工艺装备，检查管路系统、加热设备及控制仪器等。

7.1.6　应随炉安放供检测的试样。试样的材料、前处理、加工条件应与待氮碳共渗件相同。

7.2　装炉

7.2.1　使用料筐（夹具）时，应预先检查其安全性能，并去除油污等。

7.2.2　工件应装在有效加热区内。要注意工件及试样的装炉方式、装入量、装入位置及相互间的间隙，防止工件的畸变，并保证炉内气氛良好循环。

7.3　气体氮碳共渗工艺

7.3.1　升温速度、共渗温度、气氛组成及氮碳共渗时间应根据工件的材料和技术要求设定和控制。

7.3.2　处理过程中要注意炉温的波动及渗剂的加入量；进炉后排气速度宜快，必要时可采取预热措施。

7.3.3　常用的氮碳共渗温度为 520～570℃。

7.3.4　常用的氮碳共渗时间为 2～4h。

7.4　冷却

7.4.1　通常用油作为冷却剂，根据技术要求也可选用其他冷却剂。

7.4.2　对表面色泽有要求的，在氮碳共渗后的冷却过程中，应在渗氮气氛或其他保护气氛中进行。

7.5　后处理

7.5.1　应对氮碳共渗件进行必要的清洗。

7.5.2　对容易产生氢脆的材料，在氮碳共渗结束后应进行去氢处理。

7.6　操作记录

应记录处理过程中的必要数据和事项，并保存相关记录。

8　品质要求及品质检验

8.1　外观

氮碳共渗件的外观检验采用目测。按 JB/T 9218 规定不允许有裂纹、剥落及影响使用的伤痕等缺陷。

8.2　表面硬度

氮碳共渗件的表面硬度检验方法按 JB/T 6050 或其他技术上约定的硬度检验方法进行。表面硬度应符合表 4 的规定，表面硬度允许偏差值应符合表 5 的规定。

表 4　工件气体氮碳共渗后的表面硬度

序号	材　料　类　别	表面硬度　HV	序号	材　料　类　别	表面硬度　HV
1	碳素结构钢	≥480	5	合金工具钢	≥700
2	优质碳素结构钢	≥550	6	灰铸铁	≥500
3	合金结构钢(不含铝)	≥600	7	球墨铸铁	≥550
4	合金结构钢(含铝)	≥800			

注：有特殊要求的工件，如抗蚀件、薄件（厚度小于 1mm）、不锈钢或耐热件、粉末冶金及高速钢件等，可按其各自的技术要求，不受本表的限制。

表 5 表面硬度允许偏差值

表面硬度 HV	同一工件内 HV	同一炉内工件 HV
≤500	≤35	≤55
>500	≤70	≤120

注：1. 测定位置应在工件形状和加工条件基本一致的范围内。
2. 测定时载荷应按技术文件规定。
3. 同一炉是指用同一批材料、同一原始状态及同一氮碳共渗处理的工件。当采用周期式设备时，是指同炉次处理的工件；当采用连续式设备时，是指同一处理条件下得到的一批工件。
4. 同一工件内、同一炉内的工件表面硬度最低值应大于或等于表面硬度的要求。

8.3 氮碳共渗层深度

氮碳共渗层深度的检验方法应符合 GB/T 11354 的规定。渗层深度的规定见表 6，渗层深度允许偏差值的规定见表 7。

表 6 工件气体氮碳共渗层深度

序号	材料类别	渗层深度/mm	
1	碳素结构钢 优质碳素结构钢	化合物层	0.008～0.025
		扩散层	≥0.20
2	合金结构钢(不含铝)	化合物层	0.008～0.025
		扩散层	≥0.15
3	合金结构钢(含铝)	化合物层	0.006～0.020
		扩散层	≥0.15
4	合金工具钢	化合物层	0.003～0.015
		扩散层	≥0.10
5	灰铸铁 球墨铸铁	化合物层	0.003～0.020
		扩散层	≥0.10

注：有特殊要求的工件，如抗蚀件、薄件（厚度小于 1mm）、不锈钢或耐热件、粉末冶金及高速钢件等，可按其各自的技术要求，不受本表的限制。

表 7 渗层深度允许偏差

渗层深度/mm		允许偏差/mm	
		同一工件内	同一炉内工件
化合物层	≤0.005	0.002	0.003
	>0.005～0.01	0.004	0.005
	>0.01～0.02	0.006	0.007
	>0.02	0.008	0.010
总渗层	≤0.3	0.05	0.10
	>0.3～0.6	0.10	0.15
	>0.6	0.15	0.20

注：1. 测定位置应在工件形状和加工条件基本一致的范围内。
2. 同一炉是指用同一批材料、同一原始状态及同一氮碳共渗处理的工件。当采用周期式设备时，是指同炉次处理的工件；当采用连续式设备时，是指同一处理条件下得到的一批工件。
3. 同一工件内、同一炉内工件的渗层深度应符合渗层深度的要求。

8.4　金相组织

金相组织的验收标准应当由合同双方协商确定。金相组织的检验应按 GB/T 11354 的规定进行。

8.5　畸变

工件的畸变应不影响后续加工及使用，允许规定的畸变量应合同双方协商确定。

9　试样检验和检验设备

9.1　应采用与工件相同材料、相同预处理的随炉试样检验。如要在工件上检验，具体要求应由合同双方协商确定。

9.2　所用的显微硬度计、金相显微镜等检验设备应有计量部门颁发的合格证，并在有效期内使用。

10　能源消耗要求

气体氮碳共渗的能源消耗定额应符合 GB/T 17358 及 GB/T 19944 的有关规定。

11　安全卫生与劳动保护要求

11.1　气体氮碳共渗炉的排气口旁、炉门（炉口）旁以及炉子周围与上方的 HCN 含量不得超过 $0.2mg/m^3$。

11.2　气体氮碳共渗过程的安全卫生、劳动保护及环境品质要求应符合 GB 15735 及 GB 3095 的有关规定。

12　产品报告单

12.1　根据要求可按每批或每炉开具报告单。

12.2　产品报告单内容：

a）批号或炉号；

b）工艺类型或工艺代号；

c）工件名称和图号；

d）工件材料牌号；

e）单件质量及数量；

f）品质检验结果；

g）操作者姓名或代号；

h）检验员姓名或代号；

i）加工单位名称；

j）报告日期。

第十九节　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火

一、概论

渗碳与碳氮共渗，是目前国内外应用最为广泛的化学热处理工艺。随着机械工业和科学技术的发展，近年来这两种技术在设备、工艺、气氛控制、质量检测等方面得到了快速的发展。特别在质量检测方面，目前国际上普遍以有效硬化层深度的检验代替了渗层深度的检验，这不仅全面地促进了这两种热处理技术的发展，而且更进一步地提高了产品的质量。

基于对全面质量管理的需要，本标准不仅规定了对质量的要求及其测试方法，而且规定了达到这些质量要求所需要的措施。因此，其内容涉及钢材、设备、工艺、辅助材料、质量要求、测试方法、管理等方面。但标准对这些内容只作了原则性的规定和一般性要求。它不是具体的热处理工艺规范，但却是应用单位制定企业热处理标准、热处理工艺规范的依据。

本标准制定于1985年，第1次修订完成于1999年。该标准实施8年后，标准中的技术规范和要求，已滞后于科技进步和生产发展的需要，因此2007年进行了第2次修订。这次修订参考了近几年来国内外渗碳与碳氮共渗淬火和回火制定和修订后的现行标准文本，从贯彻和执行相关标准的角度出发，参照了最新日本工业标准JIS B 6914：2002，并增加了相应的内容，以便更好地服务于生产。

二、标准应用说明

1. 标准修订主要内容

JB/T 3999—2007与JB/T 3999—1999相比，主要技术内容不同处如下：

将“2 引用标准”按GB/T 1.1修订为“2 规范性引用文件”，并改写了引导语。

各引用文件的标准编号及标准名称均按现行标准做了增减或修订，增加GB/T 4340.1、GB/T 4341、GB/T 15735、GB/T 12603、GB/T 16924和JB/T 9209等引用文件，修改“GB/T 230”为“GB/T 230.1”，修改“GB/T 699 优质碳素钢 技术条件”为“GB/T 699 优质碳素钢”，修改“GB/T 3077 合金结构钢 技术条件”为“GB/T 3077 合金结构钢”。

根据实际生产的需要及日本标准JIS B 6914：2002，本标准增加了“3 渗碳、碳氮共渗工艺分类及代号”一章节，增加表1，以对渗碳与碳氮共渗的工艺种类有更完全的分类和介绍。

2. 主要验证情况分析

1）根据生产实践，将“3 渗碳、碳氮共渗常用钢号”修订为“4 渗碳、碳氮共渗常用材料及技术条件”和“5 待处理工件的原始状态”。

主要依据和目的是对工件在渗碳与碳氮共渗工艺前的种类、处理状态、形状尺寸等有明确的规定和区分，以确定工件在渗碳与碳氮共渗前是否有误差，完善了标准中表2，增加了表3和表4。

2）根据国内外众多热处理设备厂对加热设备的温度偏差的精确设置，将原“4 热处理设备”中“表2 有效加热区的温度偏差”修订为“表5 加热设备有效加热区的温度偏差”，使得温度偏差更加精确。

3）根据近些年真空热处理和离子轰击热处理的快速发展，增加了“6.1.3 真空渗碳炉、真空碳氮共渗炉应能根据处理目标调整气氛成分”和“6.1.4 离子渗碳炉、离子碳氮共渗炉……”，以对这两种渗碳与碳氮共渗设备的应用有所规定。

4）根据近些年真空淬火炉的快速发展，增加了“6.2.6 真空淬火炉……”。

5）根据国内外众多热处理设备厂对淬火冷却设备的温度偏差的精确设置，将原标准中的表3修订为新标准中的表6，使得淬火冷却介质的使用温度范围更加精确。

6）根据测温设备的精密度的提高，将原标准中“表4 指示温度总偏差”当预定温度$T=400$℃时，温度指示总误差为±4℃修订为“表7 指示温度总偏差”中的$\pm T/100$℃。

7）根据实际生产需要，增加了“7.2.4 碳势测量”。

8）随着众多硬度测试方法的不断推广及应用，原标准“6 质量检验”中只有洛氏硬度表示方法已经不能够满足硬度测试要求，特根据GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341等试验方法，对表面硬度的偏差值增加了表8、表9、表10、表11等多种硬度测试方式，以满足广大应用者的需要。

9）根据众多行业人士对有效硬化层深和全硬化层深的完整测定，对原标准中“表6 有效硬化层深度偏差”进行了一定的完善和修订，改为“硬化层深度”，如标准中表12所示。

10）根据实际生产需要，增加了“12 产品报告单”，对处理后的工件提出要求。

3. 标准的作用和实施情况

本标准为行业标准，覆盖范围较大，但对设备和质量等各方面的指标要求却都是基本的。有不

少地方，如标准中 6.3.6、7.4、7.5 等，只做了原则性的规定，没有而且也不可能做出具体的规定。一些定量参数，如炉温均匀性、硬度误差等的指标范围较宽，目的是把裕量留给企业，各单位可以此为依据，结合具体情况制定适合于自己的企业标准。制定企业标准时对各项规定必须具体化，各项数量指标都应不低于本标准规定指标。

（1）应用可控气氛。本标准在 6.1.2 中规定：“气体渗碳炉、气体碳氮共渗炉的气体成分应可调可控”。实际上就是要求采用可控气氛。在这方面，工业比较先进的国家基本上已作为常规技术而普遍采用。我国也有多年的应用，在设备和仪器方面均积累了相当丰富的经验。因此，本标准的这项规定，客观条件已具备。

（2）排气程度的衡量。本标准在 7.2.2.1 中规定，气体法的“排气程度应以炉气成分作为衡量标准。”这是从原来的经验判断法上升到了定量判断法，因而更为科学，原来那种操作者根据火苗颜色来判断排气程度的经验法，很不准确，难免因人而异。

（3）清洗。标准中规定工件在渗件入炉之前要清洗。完成这道工序可以避免工件油脂的蒸发对炉气的污染和干扰，对稳定工件的质量是不可忽视的环节。这在连续炉生产的情况下尤为重要。另外，这也是绿色环保的要求，必须引起足够的重视。

（4）有效加热区。有效加热区是指炉膛内炉温均匀性符合热处理工艺要求的装料区域。这里有两重含义：一是温度要达到热处理工艺的要求，二是温度的均匀性要符合规定的要求。不难理解，即使是同一个炉子，由于热处理工艺不同，其有效加热区的大小是不一样的。随着使用时间的延长，有效加热区也将不断缩小。因此，随着有效加热区的缩小，应相应减少炉子的使用空间，即减少装炉量。待有效加热区缩小到一定程度之后，炉子大修或报废。有些企业对此不够大重视，装料量往往超出有效加热区，因此很难保证质量。

一般在新炉子开始使用之前或热处理工艺变动时，要测定炉子的有效加热区。除此之外还要根据规定定期进行测定。测定时，应按照 GB/T 9452《热处理加热炉有效加热区测定方法》进行。为便于广大用户测定有效加热区，在炉子设计制造时应设置必要的备用孔。

（5）有效硬化层深度。有效硬化层深度是指渗碳或碳氮共渗的零件，经淬火回火处理后，从表面至硬度为 550HV 处的垂直距离。这里维氏硬度计所用的载荷为 9.807N（1kgf）。

目前，很多国家在渗碳、碳氮共渗、火焰淬火，感应淬火等方面，都已采用了有效硬化层测定方法，这种方法在国际上已成为采用其他方法有争议时的唯一仲裁方法。在采用这种方法时，应按照 GB/T 9450《钢件渗碳淬火有效硬化层深度的测定和校核》所规定的进行。

鉴于上述原因，本标准明确地规定要采用有效硬化层深度代替原来的渗层深度作为质量的测试指标。（北京机电研究所吕东显供稿）

三、标准内容（JB/T 3999—2007）

钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火

1　范围

本标准规定了工件的渗碳与碳氮共渗淬火回火的常用钢种、设备、工艺、质量检验、检验设备及安全卫生要求。

本标准适用于钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火处理。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其后所有的修改单（不包括勘误表的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议

的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 699　优质碳素结构钢

GB/T 700　碳素结构钢（GB/T 700—2006，ISO 630：1995，NEQ）

GB/T 3077　合金结构钢（GB/T 3077—1999，neq DIN EN 10083-1：1991）

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 4341　金属肖氏硬度试验（GB/T 4341—2001，eqv JIS Z2246：1992）

GB/T 5216　保证淬透性结构钢

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 15822.2　无损检测　磁粉检测　第2部分：检测介质（GB/T 15822.2—2005，ISO 9934-2：2002，IDT）

GB/T 15822.3　无损检测　磁粉检测　第3部分：设备（GB/T 15822.3—2005，ISO 9934-3：2002，IDT）

JB/T 9209　化学热处理渗剂技术条件

JB/T 9218　渗透探伤方法（JB/T 9218—1999，eqv JIS Z 2343-1992）

JB/T 10312　钢箔测定碳势法

3　渗碳、碳氮共渗工艺分类及代号

钢件渗碳、碳氮共渗的工艺分类及代号应符合GB/T 12603的规定，具体分类及代号见表1。

表1　渗碳、碳氮共渗工艺分类及代号

工艺分类		代号	工艺分类		代号
渗碳	气体渗碳	531—01	碳氮共渗	气体碳氮共渗	532—01
	真空渗碳	531—02		真空碳氮共渗	532—02
	液体渗碳	531—03		离子碳氮共渗	532—08
	离子渗碳	531—08			
	固体渗碳	531—09			

4　渗碳、碳氮共渗常用材料及技术条件

4.1　常用钢种

渗碳、碳氮共渗常用钢种应符合表2的规定。

表2　渗碳、碳氮共渗常用钢种

钢种类别及标准号	钢号
碳素结构钢 GB/T 700	Q215,Q235,Q255
优质碳素结构钢 GB/T 699	08,10,15,20,25,15Mn,20Mn,25Mn

（续）

钢种类别及标准号	钢　　号
合金结构钢 GB/T 3077	20Mn2,27SiMn,20MnV,15Cr,20Cr,15CrMn,20CrMn 20CrMnSi, 25CrMnSi, 20CrV, 20CrMnTi, 12CrMo, 15CrMo, 20CrMo, 20CrMnMo, 12CrMoV, 25CrMoVA
保证淬透性结构钢 GB/T 5216	20Mn2B,20MnTiB,20MnVB,20MnMoB,20SiMnVB,20MnTiBRE,20Cr3MoWVA 20CrNi, 12CrNi2, 12CrNi3, 20CrNi3, 20CrNi2, 12Cr2Ni4, 20Cr2Ni4, 18Cr2Ni4WA, 20Cr2Ni4WA,20CrNiMo,17Cr2Ni2Mo,18CrMnNiMoA

4.2　技术条件

工件的技术要求包括渗层表面硬度、渗层心部硬度、渗层深度、渗层组织、心部组织、畸变量均应符合渗碳、碳氮共渗的工艺特点。

5　待处理工件的原始状态

5.1　根据表 3 规定的项目记录待处理工件的原始状态并予以保存。

表 3　工件处理前的状态

项　　目	备　　注
（1）待处理工件的试验数据	
工件的种类	
化学成分①	
炼炉钢号①	
拉伸试验数据①	
硬度试验数据①	
淬透性试验数据①	
金相组织检验记录①	晶粒度、脱碳层、非金属夹杂物、微观及宏观组织
烧结密度测试数据①	
（2）待处理工件的制造方法	
铸造	包括冷、热锻造，必要时注明锻造比
锻造	包括冷、热轧制
轧制	包括冷、热挤压
挤压	
烧结	
机械加工	包括冷、热、弯曲及扭转
冲压	包括冷、热拉拔
拉拔	包括冷、热滚压成形
滚压成形	焊接区及焊接方法
焊接	
（3）工件的预先处理及其方法	必要时，应明确加热温度、保温时间及冷却方式
烧结平整	
烧结不平整	

（续）

项　　目	备　　注
（4）待处理工件的表面加工质量及矫正精度	
切削方法及其条件	
矫正精度	包括冷、热矫正

① 可根据具体要求部分或全部省略

5.2　根据表4规定的项目记录待处理工件的外观、质量、形状、尺寸及精度，并予以保存。

表4　工件的外观、质量、形状、尺寸及精度

项　　目	备　　注
（1）工件的外观	裂纹、伤痕、铁锈和黑皮等
（2）工件的质量①	
（3）工件的形状① 特殊形状 壁厚差异 孔的形状与位置	
（4）工件的尺寸及精度①	
尺寸	
处理部位的加工余量	
整体工件的加工余量	
处理部位的表面粗糙度	
尺寸公差	
形状公差①	（参考）形状公差指直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度及面轮廓度
方向公差①	（参考）方向公差指平行度、垂直度及倾斜度
位置公差①	（参考）位置公差指同轴度、对称度、位置度、圆跳动、全跳动

① 可根据具体要求部分或全部省略。

6　热处理设备

6.1　渗碳与碳氮共渗加热设备

6.1.1　对不同的渗碳种类、加热源和作业方式（连续作业或非连续作业），加热设备的有效加热区应按GB/T 9452测定，其温度偏差不得超过表5的规定。

表5　加热设备有效加热区的温度允许偏差

工件的品质区分	温度允许偏差
重要件	±10℃
一般件	±15℃

6.1.2　气体渗碳炉、气体碳氮共渗炉的气体成分应可调、可控。炉子密封性好，炉气能充分循环；以气体为原料气时，要求原料气的化学成分稳定，气氛和碳势可调，有害杂质少；渗剂入口不易堵塞。以有机液体的热裂解气为原料气时，有害杂质少，易裂解，流动性好，渗剂应符合JB/T 9209的规定。

6.1.3　真空渗碳炉、真空碳氮共渗炉应能根据工作要求控制和调节炉气压力和成分。

6.1.4　离子渗碳炉、离子碳氮共渗炉应带有过热防止装置和电弧放电防止装置，能将真空度及气氛调节至适合加工需要，能保持稳定的辉光放电，为了调整气体的比例应配置气体流量计。

6.1.5　液体渗碳或碳氮共渗盐浴不应对工件产生腐蚀或其他有害影响，附在工件上的盐应清除；盐浴在使用温度范围内，要求黏度小、蒸发量少。

6.1.6　连续式渗碳或碳氮共渗的设备，其加热、保温和冷却的温度及在各区域内的保温时间应符合各工序的要求。工件在炉内的运行速度应能调节。

6.2　淬火加热设备

6.2.1　淬火炉的有效加热区应按 GB/T 9452 测定，其温度偏差不得超过表 5 的规定。

6.2.2　可控气氛淬火加热炉的炉气成分应满足淬火工艺要求，且能调节。

6.2.3　盐浴加热炉的盐浴应根据工艺和技术条件要求进行必要的脱氧。

6.2.4　燃料加热炉的火焰不应直接接触工件。

6.2.5　连续式淬火加热设备中的工件淬火前，应在淬火温度下保温足够的时间。工件在炉内运行速度应能调节。

6.2.6　真空淬火炉应能根据技术要求，有效地调整真空度。

6.3　冷却设备

6.3.1　淬火冷却槽内的冷却介质的使用温度允许偏差不得超过表 6 的规定。

表 6　淬火冷却介质的使用温度允许偏差

淬火冷却设备	冷却介质的使用温度允许偏差	淬火冷却设备	冷却介质的使用温度允许偏差
水槽	目标温度 ±10℃	热浴槽	目标温度 ±10℃
油槽	目标温度 ±20℃	空气或气体	无特殊要求时指室温

注：表中的目标温度指冷却剂使用温度范围的中间值。

6.3.2　冷却介质应满足工件淬火要求的冷却速度，须使工件的表面各部分尽可能均匀地冷却。冷却槽应有足够的容积，并配置有温度调节装置及满足要求的搅拌设施。

6.3.3　水槽中的淬火用水或水溶性淬火介质，不应含有过量的杂质。水溶性淬火介质的浓度应适合淬火要求，并定期进行浓度检测。

6.3.4　淬火油和热浴槽中的热浴应符合淬火要求的冷却性能；成分均匀，不含过量的杂质，不易老化，对工件不产生腐蚀及其他有害的影响。

6.3.5　连续冷却设备，其运行速度应能调节，以满足淬火要求的冷却时间。

6.3.6　渗碳、碳氮共渗后冷却设备或缓冷设备应有效密封，冷却速度可调节，能通保护气。

6.4　回火设备

回火炉的有效加热区应按 GB/T 9452 测定，其温度偏差不得超过表 5 的规定。

6.5　温度测定及控制设备

6.5.1　温度测定和控制要求应符合表 5 的规定。

6.5.2　周期式加热设备及连续式炉的每个加热区应具有自动跟踪处理温度的记录装置。

6.5.3　在预定温度的指示刻度范围内，所指示的温度总偏差不得超过表 7 的规定。

表 7　温度指示总偏差值

预定温度 T	温度指示总偏差值
<400	±4℃
≥400	$\pm T/100$℃

7 热处理过程

7.1 处理前的准备

7.1.1 待处理工件技术条件

按待处理工件的质量要求、防渗部位的防渗措施及钢材的牌号（或化学成分）和预备热处理情况，制定工艺规范。

7.1.2 待处理工件的外观质量

待处理工件的外观不应有氧化皮、锈斑、碰伤、裂纹。必要时按 GB/T 15822.2、JB/T 9218 的规定进行探伤。

7.1.3 其他

对待处理工件进行清理和烘干，根据工件要求选定工装夹具。

7.2 渗碳、碳氮共渗

7.2.1 装炉

工件应置于有效加热区内，并带有符合要求的随炉试样。试样的材料牌号和处理条件应与工件相同；试样的尺寸应该反映工件的特征，试样的安放位置应有代表性。

7.2.2 升温

控制升温速度，使工件各部位之间不产生明显温差。

7.2.2.1 气体渗碳、气体碳氮共渗在升温阶段要充分排气，排气程度应以炉气成分作为衡量指标。

7.2.2.2 液体渗碳、液体碳氮共渗处理工件应预热。

7.2.3 保温

按技术条件要求，根据零件形状、尺寸、装炉量确定保温时间。

7.2.4 碳势测量

碳势测定应符合 JB/T 10312 的规定。也可按现场条件使用氧探头碳势测定仪、红外仪或热丝仪测定。

7.2.5 抽样

周期炉生产过程中要定时抽样检查；连续炉生产时要核验试样。

7.2.6 冷却

7.2.6.1 对要求降温直接淬火的工件，淬火前要均温。

7.2.6.2 渗碳后缓冷时应采取措施，避免或减少脱碳。

7.3 淬火

7.3.1 按淬火要求，确定加热温度和保温时间。

7.3.2 炉内不同位置工件的温度应均匀。

7.3.3 将淬火冷却介质调整在使用温度范围内。

7.3.4 选择正确的加热和冷却方法。

7.4 回火

7.4.1 加热时，工件各部位的温度应保持一致。

7.4.2 工件淬火后要及时回火，回火时间要充分。

7.5 后续处理

7.5.1 校正

工件校直后一般应及时进行去应力处理（热校除外）。

7.5.2 清理

及时清除工件上附着的油污及盐渣等。

7.5.3　防锈

要进行防锈处理。

7.6　记录

应按规定和工艺要求对处理过程进行记录，并按规定妥善保管，以便备用。

8　质量检验

8.1　外观

已处理工件表面不能出现因热处理引起的微裂纹、熔融、烧伤及影响使用的划痕等缺陷。外观检验采用目测或根据 GB/T 15822.2、JB/T 9218 规定检查裂纹。

8.2　表面硬度

硬度检验的方法，按 GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341 或其他硬度试验方法进行。表面硬度的偏差范围不得超过表 8、表 9、表 10、表 11 的规定。

表 8　表面硬度偏差值

处理件类别	表面硬度的偏差值　HV			
	单　件		同　批	
	≤500	>500	≤500	>500
重要件	35	60	55	100
一般件	45	80	80	140

表 9　表面硬度偏差值

处理件类别	表面硬度的偏差值　HRC	
	单　件	同　批
重要件	3	5
一般件	4	7

表 10　表面硬度偏差值

处理件类别	表面硬度的偏差值　HRA			
	单　件		同　批	
	≤75	>75	≤75	>75
重要件	1.5	2.0	2.5	3.0
一般件	2.0	2.5	3.5	4.0

表 11　表面硬度偏差值

处理件类别	表面硬度的偏差值　HS			
	单　件		同　批	
	≤7	>7	≤70	>70
重要件	4	5	6	8
一般件	5	6	9	11

注：1. HV、HRC、HRA 及 HS 的数值是用不同硬度试验机的实测值，各表之间的硬度值无直接换算关系。

2. 所谓同一批是指用同批处理材料，当用周期式热处理设备时，原则上是同炉次渗碳、淬火及回火作业后所得的一批处理工件；当用连续式热处理设备时，则为同一条件下处理得到的一批处理工件。

3. 测定位置应在工件形状和加工条件与要求部位条件大体一致的范围内；局部渗碳淬火回火时，测定位置不应选在渗碳层界面附近。

8.3　硬化层深度

硬化层深度按 GB/T 9450 的要求进行检验，深度偏差不得超过表 12 规定。

8.4　金相组织

热处理后应达到工件材料相对应的组织要求，按相关金相标准进行检验。

表 12 硬化层深度偏差值 （单位：mm）

硬化层深度		单件	同批
硬化层深度	<0.50	0.1	0.2
	0.50~1.50	0.2	0.3
	>1.50~2.50	0.3	0.4
	>2.50	0.5	0.6

8.5 畸变

工件的畸变应不影响其后续机械加工及使用，具体的畸变量应当由委托与受托双方人员协商确定。

9 检验设备

所用的磁粉探伤机、超声波探伤机、硬度计、金相显微镜应有计量部门颁发的合格证，并在有效期内使用。

10 质量验收

验收时对于已处理工件的外观、表面硬度、硬化层深度、金相组织及畸变量检查必须满足第 8 章的规定。硬化层深度的检查允许用相同材料相似试样进行。金相组织检验可以根据委托与受托双方协议处理。

11 安全卫生与劳动保护要求

渗碳和碳氮共渗淬火回火过程的安全卫生与劳动保护要求应符合 GB 15735 的有关规定。

12 产品报告单

报告单应包括下列内容：

——工件的名称和图号；

——工件用材料牌号；

——单件重量及数量；

——质量检验结果；

——操作者姓名或代号；

——质量检验员姓名或代号；

——报告日期。

第二十节 渗 硼

一、概论

渗硼工艺主要包括：以硼砂既作为载体又作为供硼剂的熔盐渗硼和固体渗硼（使用粉末渗硼剂、粒状渗硼剂及膏状渗硼剂）。

渗硼工艺近十几年来发展比较迅速，在生产上的应用日益广泛。为了使生产企业能正确掌握渗硼工艺技术，扩大其应用范围，采用行之有效的工艺参数与技术指标，以确保渗硼件的质量，满足用户有标准可循的要求，特制定本标准。本标准规定了渗硼处理的技术条件，包括渗硼工艺规范、渗硼剂的性能要求、渗硼设备以及渗硼件的后处理等。

本标准制定于 1986 年，标准编号为 JB/T 4215—1986。第 1 次修订于 1996 年，标准编号为 JB/

T 4215—1996。第 2 次修订于 2008 年，标准编号为 JB/T 4215—2008。JB/T 4215—2008 的主要变化如下：

1）规范并标出了封面的各种信息；

2）调整并填充了“前言”中的相关要素。

3）规范了“规范性引用文件”的导语，增加了规范性引用文件，并对采标项目做了标记。

4）原标准表 1 中“铬轴承钢 YB 9-68”已被“GB/T 18254”所代替，新标准中取消了“GCr6”和“GCr9”两个材料牌号。

5）删去了“表 1”相关标准中已被取消的个别材料牌号（GB/T 3077 中的“20Cr”、GB/T 1200 中的“Cr14Mo”、GB/T 9439 中的“HT400”）。

6）将单相渗剂、双相渗剂的渗层深度分别修改为≥0.05mm 和≥0.08mm（见 5.4.3）。

7）原 5.5.1 及原表 3 内容在本标准中无实际意义，故删除。现将 5.5.1 改为：“渗剂对坩埚和零件不应有腐蚀作用。渗后零件表面残留渗剂应易于清除”。

8）在 6.1.3 修改为：渗硼加热炉温度均匀性控制在 ±10℃范围内。

9）在 6.2 中增加“保护气氛炉”。

10）将 6.2.1 修改为：固体渗硼箱一般用耐热钢制作。

11）将 7.1.3 修改为：工件上不允许渗硼的部位可采用防渗硼涂料防护，防渗硼涂料应符合 JB/T 9199 的规定。

12）将保温时间进行了调整（见 7.2.4）。

13）调整了 7.3.3、7.3.4 的相关内容。

二、标准应用说明

1. 主要应用范围

碳钢及合金钢件经渗硼后表面形成高硬度的硼化物层，其耐磨性能优异，摩擦因数小，广泛应用于矿山机械零件，如石油钻机具的三牙轮钻头、牙爪轴承部位，拖拉机零件履带用的销等易磨损件。渗硼工艺不仅能成倍地提高工件使用寿命，而且可用碳钢或低合金钢渗硼代替高合金钢，节约价格较贵的材料。

硼化物层具有抗高温氧化性能及抗黏着性能，适用于各类模具，如无缝钢管拉拔模具、压铸模、热挤压模具均可用于渗硼处理。渗硼层的抗氧化性能与渗层厚度密切相关。渗层越厚，抗氧化温度越高。0.15～0.25mm 厚的硼化物层抗氧化温度可达 800～850℃。

渗硼零件具有对某些介质的耐蚀性。除硝酸外，渗硼试片在其他介质中耐蚀性均优于未经渗硼处理的试片。45 钢阀门密封件经渗硼处理可代替 20Cr13 不锈钢。

由于渗硼层具有抗磨粒磨损、抗高温氧化和一定的耐蚀性等优良性能，因此，本标准规定的应用范围较广。

2. 渗硼材料

在本标准中表 1 列出的渗硼材料包括各种碳钢、合金钢、不锈钢以及铸铁等，总之，凡是钢铁材料均可进行渗硼处理。

硼化物层的硬度很高且不受热处理的影响。一般材料渗硼后可作为某些耐磨、耐蚀材料的代用品。耐磨材料经渗硼后可进一步提高耐磨性能，应用于更重要的耐磨工件上。渗硼用钢应根据工件的服役条件而定。对于在重载条件下服役，基体强度要求高的工件或模具，应选用高强度钢，以更好地发挥高硬度、高耐磨性能硼化物层的作用。

本标准推荐渗硼用钢中硅含量不应大于 1%（质量分数）。因为在渗硼过程中，基体材料中的

碳和合金元素或夹杂物等，被挤向内层，在硼化物层下面，存在碳和合金元素的富集现象。硅是铁素体形成元素，当硅含量较高的钢渗硼后，在硼化物层下形成富硅区。其硬度不仅低于硼化物层，而且比基体硬度还要低，故称为α软带或软区。在实际应用上，不希望有铁素体存在。因此，渗硼材料以硅含量较低为宜。

根据铁硼合金相图（见图2.20-1），1161℃为γ-Fe与Fe_2B的共晶温度，因此经渗硼后的钢淬火温度一般不应高于此温度。高速钢常规淬火温度高于此温度，故一般不宜选作渗硼用钢。

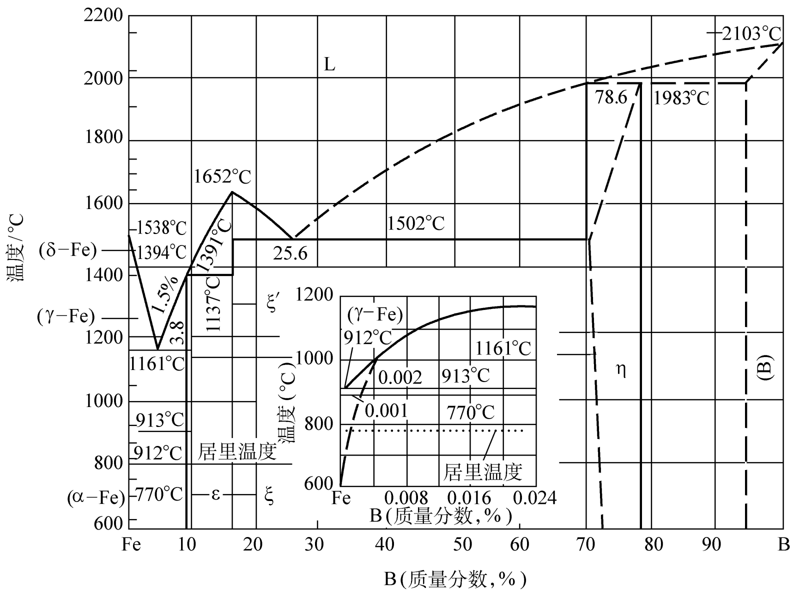


图2.20-1　铁硼合金相图

3. 渗硼及其后处理设备

（1）渗硼加热设备。硼砂盐浴渗硼加热设备应采用井式坩埚炉。内热式盐浴炉的耐热砖主要成分为Al_2O_3、MgO等金属氧化物，易与硼砂熔盐反应造成迅速破坏，故必须采用外热式坩埚炉。本标准规定坩埚材料为耐热钢。因为渗硼温度范围为850～1050℃，考虑到某些高合金钢，如Cr12钢渗硼后可直接随炉升温加热淬火，因此坩埚材料应具有抗高温蠕变性能。为使坩埚内盐浴温度均匀，保证工件处于有效加热区内，坩埚底部应高于炉膛内加热元件的下端，坩埚内熔盐（渗硼剂）液面应低于加热元件的上端，同时加热炉上部应配备炉盖。

固体渗硼对加热设备没有特殊要求，可用一般热处理加热炉，如箱式炉、井式炉或保护气氛加热炉等。

（2）后续淬火及回火设备。对于渗硼后无法进行直接淬火的渗硼件，通常需要进行后续淬火及回火处理，以获得较高的基体硬度和强度。本标准规定了在中性盐浴炉进行加热淬火的盐浴必须严格进行脱氧，以免渗硼件脱碳。回火设备根据工件材质和使用条件而定，低温回火可采用烘箱或油炉。对有条件的企业，可采用真空或保护气氛炉加热淬火、回火。

4. 对渗硼剂的要求

（1）硼砂熔盐渗硼剂的组成。硼砂熔盐渗硼剂由供硼剂、还原剂、活化剂组成。本标准只限于以硼砂为基，加还原剂的液体渗硼方法。对硼砂的比例、还原剂和活化剂的种类，本标准不做统一规定，由各企业自行选定。

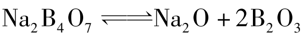
1）供硼剂。供硼剂的种类较多，如表2.20-1所示。硼砂盐浴渗硼主要以硼砂或硼酐、硼酸为

供硼剂。盐浴中加入的少量氟硼酸钠或氟硼酸钾既为供硼剂，又为活化剂。也可加入少量碳化硼，但不宜用硼铁作为供硼剂。因盐浴内铁含量增加时，影响渗硼速度，且硼铁密度大，易造成严重的盐浴偏析。

表 2.20-1　各种供硼剂的硼含量和熔点

种类	分子式	硼含量（质量分数,%）	熔点/℃
硼	B	95~97	2050
碳化硼	B_4C	78	2450
无水硼砂	$Na_2B_4O_7$	0	740
硼酐	B_2O_3	37	450
硼酸	HBO_2	25	分解
氟硼酸钠	Na_2BF_4	10	分解

2）还原剂的选择。硼砂熔融后按下式分解：



$$Na_2B_4O_7 \rightleftharpoons Na_2O + 2B_2O_3$$

上式中氧化钠是很稳定的物质。采用活泼元素还原三氧化二硼而获取硼。向熔融硼砂中加入活泼元素作为还原剂，或加入近似于碳化硼的物质（如碳化硅），使其在高温下从二氧化二硼中还原出硼。硅、钛、铀、铍、铝、锂、镁、钍、钙、镧等的还原能力是依次增加的。因此，凡是与氧亲和力大于硼与氧亲和力的物质均可用作还原剂。所选用的还原剂活性强弱会影响硼化物的相成分。如选用碳化硅为还原剂时，一般得到单相（Fe_2B）的硼化物层，要得到双相硼化物层（$FeB+Fe_2B$），可选用铝或稀土元素为还原剂。

3）活化剂。渗硼剂中以供硼剂和还原剂为主要成分。为了加速渗硼，降低盐浴熔点，改善流动性，则加入第三组元，即活化剂。常用活化剂有氟化钠、氟铝酸钠、氟硼酸钠、氟硼酸钾、碳酸钠等。为获得一定厚度及致密的硼化物层，除严格控制渗硼工艺规范外，盐浴应保持良好的活性及流动性。如果盐浴使用时间太久，流动性变差，活性降低，应及时添加活化剂及补加新渗剂。

（2）固体渗硼剂

1）固体渗硼剂的组成。固体渗硼剂有粉末、粒状和膏状三种。粉末渗硼剂由供硼剂、活化剂、填充料组成。粒状和膏状渗硼剂需再添加粘结剂。以碳化硼和硼粉为供硼剂效果最佳，但成本较高。目前国内主要以硼铁为供硼剂。也有用硼砂、硼酸、硼酐为供硼剂的，但需要添加还原剂。常用还原剂有铝、硅、钙、镁及其合金。也可以在固体渗硼剂中加入稀土元素，稀土元素可起还原和活化作用。固体渗硼所用填充剂多数为 SiC、Al_2O_3、木炭和石墨。

2）对固体渗硼剂的性能要求。本标准规定了固体渗硼剂的工艺性能、物理及化学性能要求。固体渗硼法中，渗剂的结块黏着性是固体渗硼剂的重要工艺性能，本标准中做了相应规定。

渗硼剂渗硼能力的衰减性能和渗剂的重复使用性能也是渗剂的重要工艺性能，直接影响工艺成本。

5. 渗硼操作

（1）硼砂熔盐渗硼

1）盐浴配制。根据工件尺寸及装炉量确定坩埚容积，计算盐浴总重量（硼砂盐浴密度按 2.8g/cm^3 计）。硼砂按无水硼砂换算，逐次加入坩埚内熔融，再加入还原剂和活化剂，加入时须及时搅拌均匀。

2）装炉。根据工作形状设计专用夹具，垂直吊挂在有效加热区内，工件之间的间隙一般为 10

~15mm。如果装炉量大，应注意工件相互间隔，以保证达到渗硼层厚度均匀的效果。

3）渗硼温度及保温时间。渗硼温度及保温时间是渗硼工艺的主要参数。渗硼层的深度除受钢中碳与合金元素影响外，主要取决于温度和时间。图2.20-2所示为不同温度和时间对45钢渗硼层深度的影响。因此，应根据工件的钢种及服役条件确定渗硼温度及保温时间。对特殊要求的渗硼件、视具体情况而定。如果选用更高温度和长时间保温，一方面对基体组织不利，同时渗层深度太深，渗层与基体金属的结合力相应减弱，渗硼层的脆性增大，出现起皮裂纹的可能性也会增加。据资料介绍，渗硼层的临界深度为：低碳钢0.3mm，中碳钢0.25mm，高碳钢0.18~0.2mm。因此，在拟定渗硼规范时，应根据所需渗硼层深度要求，尽可能选择低的渗硼温度和缩短渗硼时间。

（2）固体渗硼

1）装箱。渗箱可用低碳钢板或铸铁制作，但易氧化起皮，使用寿命短。多次重复使用的渗箱，用不锈钢或耐热钢制作比较经济。固体渗硼的装箱方法与固体渗碳相近，工件与工件、工件与箱壁之间应留有10~20mm间距。靠近箱盖一侧覆盖的渗剂要增厚一些，厚度应不少于20mm。箱盖可采用耐火泥或无机高温胶密封。

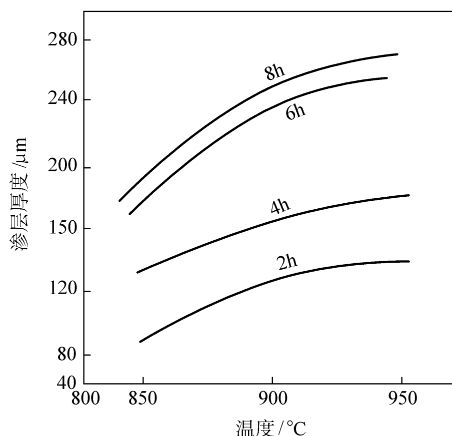


图2.20-2 不同温度和时间对45钢渗硼层厚度的影响

2）加热。固体渗硼对加热设备没有特殊要求，可用一般的热处理加热炉，如箱式炉、井式炉等。推荐在600~700℃装炉，随炉升温。虽然也可以冷装炉，但是由于在600℃以下渗剂不发生反应，渗箱中的残留空气在600℃以下可能引起工件氧化，影响渗硼。

应根据所用钢种、工件的服役条件及渗后热处理要求，选择渗硼温度。

固体渗硼的保温时间取决于钢的成分、渗剂成分和要求的硼化物层深度。加热时间为保温时间加上渗箱的透烧时间。

3）冷却与开箱。固体渗硼后通常随炉冷却到700℃以下时将渗箱取出炉外，待渗箱空冷或风冷至室温后，再开箱取出工件。

6. 渗硼件的后处理

渗硼件的后续热处理应根据工件的服役条件和失效特点而定。基体强度要求不高的渗硼件，渗硼后直接空冷即可。多数渗硼件需要进行重新加热淬火。由于渗硼温度较高，加热时间较长，渗硼后钢的组织通常较粗大，淬火加热温度应根据钢种的不同，选择其淬火温度下限为宜。

渗硼件淬火加热时应注意避免氧化脱硼。在盐浴炉中加热时，盐浴必须严格脱氧。

7. 渗硼件的质量检验

（1）渗硼件的外观质量。目测渗硼件，表面颜色应为灰色或深灰色，表面应光滑，无伤痕、无剥落等缺陷。

（2）渗硼件表面硬度检验。渗硼层的粗略硬度检验可用锉刀在渗硼件的非工作面上锉动，看是否打滑，或用渗硼件尖角处划玻璃，看是否划得动。

渗硼层的精确硬度检验一般采用显微硬度计测量。由于硼化物层硬度高，脆性大，不能采用一般洛氏或布氏硬度计测量，否则会把渗硼层压碎。洛氏硬度最高值为70HRC，而硼化物层硬度远远超过此值。因此，测量硼化物层的硬度时，建议采用金相试样，经研磨、抛光、腐蚀后，在显微维氏硬度计上进行（为区别FeB和Fe_2B相，可用三钾试剂染色）。

在金相显微镜下，选择完整部位用0.98N（100gf）载荷测量。在测量FeB相时，应注意由于

其脆性大，压痕易出现裂纹，此时可采用0.49N（50gf）载荷测量。

（3）硼化物层深度的测量。关于硼化物层深度的测量方法有不同的见解。由于渗层的齿状形态，要充分精确地测定硼化物层深度是困难的，多点测量在实际生产中应用既麻烦也不必要，等效体积法也只适用于理论研究。从所收集的资料中看主要有两种方法：一种方法是采用硼化物针楔入基体的最深度，称为峰的平均值；另一种方法是采用峰谷（硼化物层距试样表面最薄处）的平均值。德国对渗硼层的测量方法通常规定为许多硼化物峰（即齿尖）的平均值。本标准规定取齿尖长度相近有代表性的5点的平均值。图2.20-3所示为测量硼化物层深度的示意图。

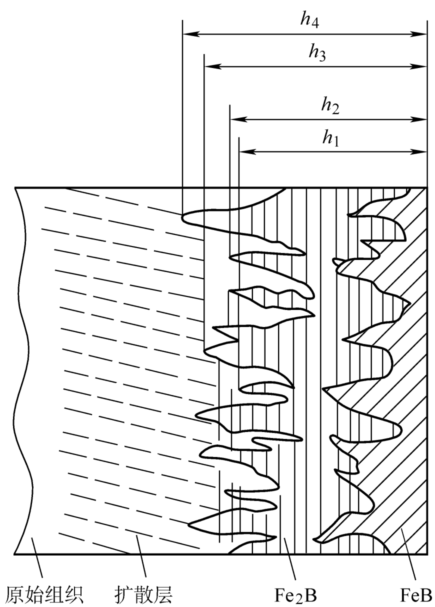


图2.20-3 测量硼化物层深度的示意图

8. 硼化物的类型

渗硼层是由硼化物层（即单相 Fe_2B 或双相 FeB + Fe_2B）与过渡层所组成。硼化物层具有延伸到基体材料之中的舌状或针状形态。碳与合金元素的含量增多时，不仅硼化物层的深度减薄，舌状或针状的伸入长度也变短，硼化物与基体交界处变得平坦。因此，不同钢种、不同渗硼方法，以及渗硼剂的活性和渗硼工艺规范的不同，可以得到不同的渗硼组织。从图2.20-1所示的铁硼合金相图可知，随着铁中硼含量的升高，依次可得到α、ε、ξ和η等相。α相为硼在铁中的固溶体，其余均为金属间化合物。ε相（Fe_2B，体心正方点阵）的硼含量为8.8%（质量分数）；ξ相（FeB，斜方点阵）的硼含量为16.2%（质量分数）。表2.20-2列出了硼化物的物理性能。

表2.20-2 硼化物的物理性能

化合物	密度/（g/cm³）	结晶系	常数	熔点/℃	硬度 HV
Fe_2B	7.32	正方晶	$a=5.109$ $b=4.249$	1389	1290～1680
FeB	7.15	斜方晶	$a=4.061$ $b=5.506$ $c=2.952$	1540	1890～2340

从耐磨性考虑，应获得一定渗层深度而又致密的硼化物层。当渗层为双相组织时，FeB量应占总渗层深度的1/3～1/2。这时渗硼件具有高硬度和优异的抗磨粒磨损性能，适用于冲击载荷不大，在静载磨粒磨损条件下工作的耐磨件，如陶瓷及砂砖成型、热挤压模、高压蒸汽排气阀门等。当渗层为单相组织时，硼化物层由 Fe_2B 组成，这时渗硼件具有良好的抗剥落性和抗冲蚀性能，适用于在冲击载荷磨损条件下工作的耐磨件，如冲击电锤活塞套、农机链及履带销轴、采油泵叶轮、挤压螺杆、齿轮等。（武汉保护研究所张炼、王君如供稿）

三、标准内容（JB/T 4215—2008）

渗 硼

1 范围

本标准规定了渗硼的基体材料、工艺、设备、渗硼剂、渗硼后处理、渗硼层检验及安全技术等

基本要求。

本标准适用于要求耐磨、耐蚀、抗氧化的各种结构钢、工模具钢、不锈钢、铸铁等的制成品或待抛光和研磨的半成品。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB/T 700 碳素结构钢（GB/T 700—2006，ISO 3755：1991，NEQ）

GB/T 1220 不锈钢棒

GB/T 1298 碳素工具钢 技术条件（GB/T 1298—1986，neq ASTM A 686：1979）

GB/T 1299 合金工具钢（GB/T 1299—2000，neq ASTM A681：1994）

GB/T 1348 球墨铸铁件

GB/T 3077 合金结构钢（GB/T 3077—1999，neq DIN EN 10083-1：1991）

GB/T 4340.1 金属维氏硬度试验 第1部分：试验方法（GB/T 4340.1-1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 7232 金属热处理工艺术语

GB/T 8121 热处理工艺材料术语

GB/T 9439 灰铸铁件

GB 15735 金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 16924—1997 钢件的淬火与回火（eqv JIS B 6913：1989）

GB/T 18254 高碳铬轴承钢

JB/T 7709 渗硼层显微组织、硬度及层深测定方法

JB/T 9199 防渗涂料 技术要求

JB/T 9209 化学热处理渗剂 技术条件

3 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 供硼剂 Boronizing agent

在一定温度下，能提供活性硼原子的物质。

3.2 粘结剂 adhesive

将供硼剂、活化剂、填充剂粘结在一起的物质。

3.3 单相层 single-phase layer

工件渗硼后，表面形成单一的 Fe_2B 或（Fe、M)$_2$B 组织的渗硼层。

3.4 双相层 double-phase layer

工件渗硼后，表面形成 FeB 和 Fe_2B 或（Fe、M）B 和（Fe、M)$_2$B 的双相组织的渗硼层（M 指金属元素）。

4 基体材料

常用渗硼材料见表1。

5 渗硼剂

5.1 固体渗硼剂

表 1　常用渗硼材料

材　料　类　型	牌　　号
碳素结构钢（GB/T 700）	Q195、Q215、Q235 等
优质碳素结构钢（GB/T 699）	10、20、35、40、45、65Mn 等
合金结构钢（GB/T 3077）	20Mn2、35Mn2、20CrMnTi、20CrMnMo、15Cr、40CrV、30CrMo、20CrNiMo、15CrMo 等
高碳铬轴承钢（GB/T 18254）	GCr15 等
碳素工具钢　技术条件（GB/T 1298）	T7、T8、T10、T12 等
合金工具钢（GB/T 1299）	9CrWMn、CrWMn、5CrNiMo、Cr12MoV、3Cr2W8V 等
不锈钢棒（GB/T 1220）	2Cr13、3Cr13、1Cr18Ni9Ti 等
灰铸铁件（GB/T 9439）	HT250、HT300 等
球墨铸铁件（GB/T 1348）	QT400-18A、QT500-7A、QT700-2A 等

固体渗硼剂分为粉状、粒状和膏状。

粉末状渗硼剂由供硼剂、活化剂、填充剂、组成。粒状和膏状渗硼剂需添加粘结剂。

5.2　液体渗硼剂

液体渗硼剂由供硼剂、还原剂、活化剂组成。

5.3　常用渗硼剂的化学物质

常用渗硼剂的化学物质见表 2。

表 2　常用渗硼剂的化学物质

种类	品名	分子式	含硼量(质量分数,%)	溶点/℃	纯度	粒度	备注
供硼剂	非晶质硼	B	95~97	2050			
	碳化硼	B_4C	78	2450		100~180 目	
	无水硼砂	$Na_2B_4O_7$	20	740	工业	白色粉状	
	硼酐	B_2O_3	37	450	工业	结晶或粉状	
	硼酸	H_3BO_3	25		工业	白色粉状	
	硼铁	B-Fe	17~21				
活化剂	氟化钠	NaF	—	980	工业	白色粉状	
	氟化钙	CaF_2	—	—	工业	白色粉状	
	氟硼酸钾	KBF_4	10	分解	工业或化学	白色粉状	
	氟硼酸钠	$NaBF_4$	10	分解	工业或化学	白色粉状	也为供硼剂
	氟硅酸钠	Na_2SiF_6	—	分解	工业或化学	白色粉状	
	氟铝酸钠	Na_3AlF_6	—	1000	工业或化学	白色粉状	
	碳酸氢氨	NH_4HCO_3	—	分解			
	碳酸钠	Na_2CO_3	—	890			

（续）

种类	品名	分子式	含硼量(质量分数,%)	溶点/℃	纯度	粒度	备注
还原剂	硅 钛 铝 锂 镁 钙 镧	Si Ti Al Li Mg Ca La			工业		按排列还原能力依次增加
填充剂	碳化硅 氧化铝 活性炭 木炭	SiC Al_2O_3 C C			≥98%(质量分数)工业	80 目~100 目 40 目~100 目	

5.4　对固体渗硼剂性能的要求

5.4.1　物理性能

粒状和粉状渗硼剂使用后应保持松散，不粘附工件表面。膏状渗剂应涂刷方便，涂层致密，渗后易清除。粒度、松装比体积和压溃率应符合 JB/T 9209 的规定。

5.4.2　化学性能

渗剂应具有较高的活性和稳定性，无毒害和腐蚀性。

5.4.3　工艺性能

在 900℃保温 5h，应达到如下指标(采用 45 钢试样)：

单相渗剂的渗层深度 Fe_2B≥0.05mm。

双相渗剂的渗层深度 FeB + Fe_2B≥0.08mm。

渗剂经多次使用后，可更换新渗剂 1/3 ~1/2。

5.5　对液体渗硼剂性能的要求

5.5.1　渗剂对坩埚和零件不应有腐蚀作用。渗后零件表面残留渗剂应易于清除。

5.5.2　渗硼层深度 920℃保温 5h 应符合 5.4.3 的规定(采用 45 钢试样)。

5.5.3　渗剂的填充硼砂盐浴不需经常更新渗剂。盐浴多次使用后，因工件带出液面下降，可补加渗剂保持液面高度。

6　渗硼设备

6.1　液体渗硼加热设备采用外热式坩埚炉。

6.1.1　坩埚采用最高使用温度可达 1050℃的耐热钢制作。

6.1.2　坩埚直径小于或等于 400mm 时，测温热电偶置于坩埚外壁，若坩埚直径大于 400mm，应增设直接插入盐浴内的测温热电偶，外壁热电偶起防止坩埚过热和控温作用。

6.1.3　渗硼加热炉温度均匀性应控制在 ±10℃范围内。

6.1.4　炉膛底部设有支架托稳坩埚，并设溢盐孔，以备坩埚漏盐时排出盐液，坩埚上方应有隔热炉盖。

6.1.5　坩埚外壁与电热体距离应保持 50 ~150mm 的间距，液面应低于最上一圈电热体 15 ~25mm。

6.2　固体渗硼加热设备可采用箱式电炉、保护气氛炉，也可采用井式电炉。

6.2.1　固体渗硼箱一般用耐热钢制作。

6.2.2　炉温均匀性同6.1.3。

7　渗硼及渗硼后处理

7.1　待渗件及其预处理

7.1.1　对于紧密配合的渗硼件尺寸和公差，应考虑到渗硼后有相当于渗硼层深度的10%~20%的膨胀量。

7.1.2　清除工件表面的油污和锈斑。

7.1.3　工件上不允许渗硼的部位可采用防渗硼涂料防护，防渗硼涂料应符合JB/T 9199的规定。

7.2　渗硼工艺

7.2.1　装炉

液体渗硼时，当盐浴达到规定温度后，将盐浴搅拌均匀，把已装上挂具的渗硼件吊挂在炉子有效加热区内，工件之间的间隙保持在10~15mm。

7.2.2　装箱

固体渗硼时，工件与工件、工件与箱壁之间保持10~25mm距离，距上、下底部应大于20mm，加盖密封。膏剂渗硼时，将膏剂涂(或喷)于工件需要渗硼表面，干燥后装箱入炉。

7.2.3　装炉温度

固体渗硼应采用热装炉，避免700℃以下长时间加热。

7.2.4　加热温度和保温时间

一般为850~1050℃，保温3~8h。

7.2.5　冷却与开箱

随炉冷到500℃以下出炉开箱。

7.3　渗硼件的后处理

7.3.1　一般耐磨或耐蚀件，渗硼后不需要进行后处理，精密件需进行研磨或抛光处理。

7.3.2　承受重载的渗硼件可进行正火处理。

7.3.3　承受冲击载荷时，需进行淬火、回火才能满足设计要求。淬火、回火工艺应符合GB/T 16924—1997中的8.4和8.5的规定。

7.3.4　硼砂熔盐渗硼后，应将工件表面残盐清洗干净后再进行淬火、回火。

7.3.5　重新加热淬火的渗硼件，其淬火及冷却设备应符合GB/T 16924—1997中的7.1、7.2、7.3的规定。淬火加热宜在保护气氛炉或真空炉中进行。在盐浴炉中加热时必须严格脱氧。

7.3.6　应尽可能避免渗后加工，若必须加工，精磨可选用绿色碳化硅砂轮，研磨可选用立方碳化硼研磨膏或金刚石研磨膏作研磨料。

8　渗硼件的质量检测

8.1　渗硼件的外观

表面应为灰色，且色泽较均匀，渗层无剥落、裂纹。

8.2　表面硬度

按GB/T 4340.1要求测量表面硬度，其硬度范围见表3。

表3　硬度范围

相成分	显微硬度　HV0.1
Fe_2B	1290~1680
FeB	1890~2340

8.3 渗硼层深度

测量有代表性的5点硼化物针的峰值，取其平均值作为渗硼层的深度。

硼化物层深度的极限偏差在放大200倍的情况下，不应超过表4的规定。

8.4 渗硼层的组织

显示渗硼层组织的方法及硼化物的类型应符合JB/T 7709的要求。

表4 硼化物层深度的极限偏差 （单位：μm）

硼化物层总深度	深度极限偏差	
	单件	同批[①]
100以下	±5	±10
100以上	±10	±20

① 同一炉次处理同一批工件（材料相同），通常抽查一件即可。

8.5 基体金相组织

渗硼件的基体组织应符合渗硼件的技术要求。

9 安全技术

9.1 应定时对渗硼操作工人进行工艺教育。

9.2 测温电偶、温度指示仪表应定期校准。

9.3 定期吊出坩埚检查坩埚氧化、烧损情况。

9.4 值班人员应经常查看浴液面是否明显下降，以防止坩埚漏盐。

9.5 其他安全技术按GB 15735的规定执行。

第二十一节 粉末渗金属

一、概论

粉末渗金属是将工件包埋于粉末介质中加热，使一种或多种金属元素渗入工件表层，从而改变工件表层的化学成分、组织和性能的化学热处理工艺。通过该工艺处理，可提高工件在腐蚀、磨损、高温氧化等恶劣条件下的工作寿命，以低廉钢铁材料代替贵重合金材料，达到节能、节材目的。粉末渗金属具有设备简单，原料经济，无污染及操作方便等特点，易于推广应用。国外粉末渗金属工艺广泛应用于汽车、摩托车、飞机制造、石油、化工、锅炉、食品加工、印刷及纺织机械、标准件及五金制品等工业领域，我国应用规模及范围较国外小，但生产中也在逐渐扩大应用。

ISO、BS、ГОСТ、ASTM、DIN、JIS标准中，无粉末渗铬、渗铝之类的标准，仅有美国普惠公司标准CPW58G《低温气相沉积渗铬-包覆工艺》、PWA44L《渗铝》，英国罗·罗公司标准RPS320《固体渗铝》、TIP85《工业和船舶分部用包覆渗铝件所要求的热处理和检验》。我国曾制定热浸镀铝国家标准、钢铁件粉末机械镀锌行业标准等。为稳定生产，提高产品质量，扩大应用，在制定本标准时曾参照上述国内外标准。

本标准制定于1996年，标准编号为JB/T 8418—1996。于2008年进行第1次修订，标准编号为JB/T 8418—2008。JB/T 8418—2008的主要变化如下：

1）规范并标出了封面的各种信息。

2）调整并填充了“前言”中的相关要素。

3）规范了“规范性引用文件”的导语，增加、调整了规范性引用文件，并对采标项目作了标

记。

4）缩小了设备温度控制精度（见标准中5.2）。

5）在表2中增加了“纯度≥99.0%（质量分数）”。

6）将7.1.1修改为：“根据工件图样或性能的要求确定工艺参数”。

7）将7.1.5中渗箱（罐）与炉子后墙或炉底应保持的距离修改为：“50～100mm”。

8）将7.3.3内容改为：“渗锌后，一般工件在150～160℃的L-AN全损耗系统用油中加热1h，也可直接喷涂料。L-AN全损耗系统用油的各项指标应符合GB 443的规定”。

9）对表3、表4内容做了相应的修改和调整。

10）将8.3内容改为：“按GB/T 230.1的规定，渗件淬火后的基体硬度偏差不应超过表6的要求”。

11）第9章增加了相关内容：

9.1　应定期对操作人员进行工艺教育。

9.2　热电偶、测温及控温仪表应定期校准。

9.3　其他安全技术按GB 15735执行。

二、标准应用说明

生产上应用较多的粉末渗金属工艺有：渗铬、渗铝、渗钒、渗铌、渗锌、铬铝共渗、铬铝硅共渗、钴铬铝共渗、镀钽后的铬铝共渗、镀铂（钴）渗铝、铝-稀土共渗等。本标准未一一罗列，仅就其中有代表性的渗铬、渗铝、渗锌予以介绍。

本标准适用于要求表面耐磨、耐蚀、抗氧化的钢铁或镍基、钴基等合金成品及待抛光的半成品工件，不适用于待磨削加工的工件。

本标准的主要内容阐述如下：

1. 粉末渗金属基体材料

粉末渗金属件一般系要求耐蚀、耐磨损的工件，应根据服役条件的不同，按性能要求的侧重面选择基体材料，故标准中只给出了选用材料的范围，没有规定材料的碳含量和合金元素含量。

2. 粉末渗金属设备

（1）渗箱（罐）。渗箱是粉末渗金属的重要设备之一，粉末渗金属虽然与固体渗碳相似，但对渗箱的密封、防氧化要求更高。渗铬和渗铝的渗箱一般用耐热钢制作，渗锌箱可用普通碳钢板焊制而成。根据被渗工件大小形状，渗箱可以设计为长方形或圆柱形。渗箱应保证足够的强度、刚度和密封性要求。有时渗箱上设有特殊的通气、排气装置和密封结构，可以通过预抽真空、通入氢气或惰性气体提高渗金属效果。

（2）加热设备。粉末渗金属对加热设备没有特殊要求，一般可用电炉加热，如箱式炉、井式炉或保护气氛加热炉等。对于尺寸较小的零件，如螺钉、螺母、小五金件等，可以采用回转式加热炉通入保护气氛加热。对于大型或大批量生产的工件，也有用燃煤、燃油和燃气加热炉加热的。

（3）混料和筛分设备。渗剂的添加和混配可选用机械搅拌混合装置。渗金属过程完成后，零件和渗剂可采用振动式筛分机分离。为了改善劳动条件，混料和筛分场地应配备吸尘装置。

3. 粉末渗金属剂

粉末渗金属剂由供渗剂、催化剂和填充剂所组成。通常将金属供渗剂与非金属催化剂和填充剂按一定比例混配好，然后将此混合物磨制成60～200目的粉末。粉末渗金属剂中的供渗剂提供所需渗入的金属元素；催化剂用于增加渗剂的活性，提高扩散速度；填充剂用于防止渗剂在高温下烧结和在工件表面粘连。

粉末渗铬剂中，供铬剂可采用铬粉或铬铁粉。采用铬粉渗铬效果好，但成本较高。若用铬铁粉，其铬、碳含量应符合本标准中表 2 所列技术要求，否则会影响渗入效果。催化剂采用氯化铵、氟化铵、溴化铵及碘化铵均可，以碘化铵效果最好。填充剂也可用陶土、高岭土等耐热材料代替。

为了提高渗铬效果，可采用部分氧化高碳铬铁的渗铬剂。此法能促使工件表面脱碳，从而加速渗铬过程，缩短扩散时间；同时也充分利用了渗铬剂，有利于大面积工件的处理。也可采用添加 SiO_2、Ni_2O_3、CaO、MoO_3、WO_3、MnO_2、Nb_2O_5、Ta_2O_5 等精矿粉或金属氧化物的方法，来代替氧化高碳铬铁粉。

在渗铬剂中，加入一定量的铁粉，在相同条件下可增加渗铬层厚度。

由于在渗铬剂和反应器中，以及工件在渗铬的预处理及扩散过程中，不可避免地会有一定的污染物存在（如氧化物、碳化物等），使渗铬层产生各种缺陷，在渗铬剂中加入清洁剂（即碱及碱土金属氟化物，如 KHF_2、NaF、LiF、CaF_2、BaF_2 等，将其中的一两种混合于渗铬剂中），有利于克服这些缺陷和连续无孔隙渗铬层的形成。

粉末渗铝剂的供铝剂中，铝铁粉的铝含量应达到本标准要求。

粉末装箱渗铝工艺方法易出现粉末粘结现象，要注意防止。表面铝含量过高时，易产生脆性渗层和渗剂被氧化等缺点。采取下列措施则可有效避免此类缺陷：降低渗剂中铝粉、铝铁粉的含量；采用细的颗粒度，尤其是铝粉、铝铁粉的颗粒度；降低卤化物的含量，甚至不用卤化物作催化剂；粉末中加入少量的稀土元素；在保护气氛（如氢、氩）中扩散处理。

粉末渗锌剂的组成有很大的机动性，通常以锌粉作为供渗剂，也有加入少量铝粉和锡粉改性的。渗锌是粉末渗金属中较简单的一种，可以在 400℃左右的较低温度下进行。

4. 粉末渗金属及渗后处理

（1）工件和渗剂装箱。将被渗工件按一定顺序装入渗箱内，然后用配制好的渗剂覆盖住工件表面，工件不需渗金属的部位可用旧渗剂或防渗剂覆盖。工件之间、工件与箱体之间应留有 10～20mm 间距。渗剂将工件包埋密实后对箱体进行密封。

（2）加热及冷却。将渗箱放进加热炉内，升温至工艺要求的温度进行等温渗覆，然后随炉冷却到 700℃以下时将渗箱移出炉外，待渗箱空冷或风冷至 200℃以下后，再开箱取出工件。工件与渗剂分离后，旧渗剂可回收再用。

（3）渗金属件的后处理。对于渗铬、渗铝后的工件，可进行淬火、回火、固溶等后续热处理工艺，提高工件的基体性能指标。后续热处理加热温度高于 880℃时应采取真空或保护气氛防氧化措施。对于渗锌后的工件，可进行钝化、封闭等后处理工序，进一步提高其耐蚀性。

（4）渗金属时发生的反应过程。在渗金属的加热过程中主要发生以下四个反应过程：

1）介质中的化学反应。在一定的温度下介质各组分会发生化学反应，形成可向工件提供渗入元素的活性组分。

2）活性组分向工件表面扩散，反应产物离开。活性组分通过边界层向工件表面扩散，反应产物越过边界层离开工件表面，向工件周围介质传递，即外扩散。

3）相界面反应。活性组分与工件表面碰撞，在介质—工件相界面上通过化学反应产生渗入元素的活性原子，活性原子被工件表面吸附并渗入形成固溶体或形成化合物，其他产物发生解吸离开表面，通过边界层向周围介质扩散。

4）金属中的扩散。被吸收并溶入工件基体金属固溶体中的渗入元素原子，在工件表面和基体内部产生浓度梯度差，导致渗入元素原子由工件表面向内部扩散，即内扩散。当其浓度超过在基体金属中溶解度极限时，将发生反应扩散，产生新相，逐渐形成表面合金化层。

上述四个过程是相互联系和彼此制约的，形成渗层的速度则取决于其中最慢的过程，往往内扩

散或（和）相界面反应是制约扩散总速度的主要因素。

5. 粉末渗金属件的质量检验

（1）外观检验。正常情况下工件渗金属后外表应呈银灰色或银白色，表面光洁，无腐蚀斑点及覆层剥落。

（2）渗层致密性检验。将工件用15%（质量分数）硫酸铜水溶液滴定，如渗层不致密，则有铜沉淀印迹。

（3）渗层硬度检验：按GB/T 9790《金属覆盖层及其他有关覆盖层维氏或努氏显微硬度试验》进行，载荷选用50gf（0.5N）或100gf（1N）。

（4）渗层金相检验：按JB/T 5069《钢铁零件渗金属层金相检验方法》进行。金相制样时样品应嵌镶保护以防渗层剥落。（武汉材料保护研究所张炼、杨裕雄供稿）

三、标准内容（JB/T 8418—2008）

粉末渗金属

1　范围

本标准规定了铁基及非铁基合金工件在粉末介质中渗铬、渗铝和渗锌的基体材料、设备、渗剂、渗金属工艺及后处理、渗层质量检验和安全技术的基本要求。

本标准适用于要求表面耐磨、抗蚀、抗氧化的铁基及非铁基合金成品或待抛光的半成品工件，不适用于待磨削加工的工件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）[GB/T 230.1-2004，ISO 6508-1：1999 Metallic materials-Rockwell hardness test-Part 1：Test method（scales A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T），MOD]

GB 443　L-AN全损耗系统用油

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

GB/T 9790　金属覆盖层及其他有关覆盖层　维氏和努氏显微硬度试验（GB/T 9790—1988，neq ISO 4516：1980）

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 16924　钢件的淬火与回火（GB/T 16924—1997，eqv JIS B6913：1989）

JB/T 5069　钢铁零件渗金属层金相检验方法

JB/T 9209　化学热处理渗剂　技术条件

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　粉末渗金属　powder diffusion metallizing

工件置于粉末介质中，加热到适当的时间，使金属元素扩散入表层的化学热处理工艺。

3.2　粉末渗金属剂　powder diffusion metallizing agent

由供渗剂、催渗剂与填充剂所组成的能产生活性金属原子的粉末介质。

3.3 渗层总深度 total diffusion depth

由渗层表面至基体交界处的距离。

4 基体材料

粉末渗金属基体材料见表1。

表1 粉末渗金属基体材料

粉末渗金属种类	基体材料
渗铬	钢、铸铁、合金钢、镍基合金等
渗铝	钢、铸铁、镍基合金、钴基合金、钛合金、铜合金等
渗锌	钢、铸铁、镍基粉末冶金、铜及其合金、铝及其合金等

5 设备

5.1 粉末渗铬用高温炉；粉末渗铝用中温炉；粉末渗锌宜用可倾斜的鼓形炉，也可用带风扇的低温炉。

5.2 应配备温度控制装置，温度控制精度应达到±5℃。

5.3 加热炉有效加热区的温度均匀性应为±10℃。

5.4 渗箱（罐）用耐热钢制成，渗铬、渗铝罐可带通保护气体的导管。

6 渗剂

渗剂的技术要求应符合JB/T 9209的规定。渗剂组成见表2。

表2 渗剂组成

渗剂种类	组成	品名	技术要求	备注
渗铬	供铬剂	铬铁粉(或铬粉)	铬含量≥65%(质量分数)，碳含量≤0.1%(质量分数)，其余为Fe，粒度100~200目	为提高渗铬效果，可在渗铬剂中加入部分氧化高碳铬铁粉(或铁粉)或碱及碱土金属氧化物清洁剂
	催化剂	卤化铵	纯度≥99.0%(质量分数)	
	填充剂	氧化铝粉	粒度100~200目，需高温焙烧脱水	
渗铝	供铝剂	铝铁粉(或铝粉)	铝含量为40%~70%(质量分数)，粒度150~200目	
	催化剂	氯化铵、氟氢化钾	纯度≥99.0%(质量分数)	
	填充剂	氧化铝粉	粒度100~200目，需高温焙烧脱水	
渗锌	供锌剂	锌粉	粒度60~120目	
	催化剂	氯化铵	纯度≥99.0%(质量分数)	
	填充剂	氧化铝粉(氧化锌粉)	粒度50~80目，需高温焙烧脱水	

7 工艺及后处理

7.1 渗前准备

7.1.1 根据工件图样或性能的要求确定工艺参数。

7.1.2 工件外观不应有锈蚀、碰伤和裂纹，表面一般需磨削加工，且清洗干净。

7.1.3 按配比配制好渗剂，搅拌混匀，置于150~200℃烘箱中烘1~2h。渗箱（罐）、工件均应烘干。

7.1.4 装箱时，工件与工件、工件与箱壁之间应留有10~20mm的距离，将检验用的试样放在不

同的位置。小渗箱放一个，大渗箱放 2～3 个，加盖后用水玻璃加耐火泥密封。

7.1.5　渗箱（罐）壁与炉子后墙或炉底应保持 50～100mm 的距离，与炉门应保持 200～250mm 的距离。

7.2　渗金属工艺

7.2.1　粉末渗金属温度、时间和冷却方法见表 3。计算保温时间应考虑渗箱（罐）透烧时间。

7.2.2　粉末渗铬剂重复使用 4～5 次后，应补加 20%（质量分数）新渗剂，卤化铵按渗剂总量及配比追加；粉末渗铝剂使用 3～5 次后应补加 15%～20%（质量分数）的新渗剂；渗锌剂用若干次后应及时补加新剂。

表 3　粉末渗金属温度、时间和冷却方法

渗金属种类	工艺			冷却方法
	装炉温度/℃	加热温度/℃	保温时间/h	
渗铬	室温～700	950～1100	6～10	随炉冷却到室温
渗铝	室温～700	850～1100	6～8	
渗锌	室温～400	340～440	4～6	

7.3　后处理

7.3.1　工件出炉、开箱后应清理干净。

7.3.2　工件渗铬、渗铝后的热处理，一般可根据其基体材料选择相应的淬火与回火工艺。淬火与回火应符合 GB/T 16924 的规定。

7.3.3　渗锌后，一般工件在 150～160℃的 L-AN 全损耗系统用油中加热 1h，也可直接喷涂料。L-AN 全损耗系统用油的各项指标应符合 GB 443 的规定。

8　质量检验

8.1　外观

渗件表面色泽应均匀、光洁、无裂纹、剥落、腐蚀斑等缺陷。渗铬及渗铝后表面呈银白色或银灰色，渗锌后呈银灰色。

8.2　表面硬度

表面硬度测定按 GB/T 9790 的规定。硬度允许偏差不应超过表 4 的规定。试验力应符合 JB/T 5069 的规定。不同渗层试验力的选用见表 5。

表 4　硬度（HV0.05）允许偏差

渗金属种类	渗　层　硬　度	硬度偏差
渗铬	1000～1800（基体碳含量 >0.25%）	150
	200～300（基体碳含量 <0.25%）	25
渗铝	280～680	70
渗锌	250～550	50

表 5　不同渗层试验力的选用

渗层	试验力/N	
	横截面	表面
铬、铝	0.981	0.245
锌	0.496	0.245

8.3　基体硬度

按 GB/T 230.1 的规定，渗件淬火后的基体硬度偏差不应超过表 6 的要求。

8.4　渗层深度

按 JB/T 5069 规定，渗层深度的极限偏差应符合表 7 的要求。

8.5　渗层组织

渗层组织应符合 JB/T 5069 的规定。

表 6　渗件淬火后基体硬度偏差

工件类型	硬度偏差　HRC	
	单件	同批
重要件	3	4
一般件	4	5

表 7　渗层深度的极限偏差

（单位：μm）

渗层深度	深度的极限偏差	
	单件	同批
10～20	±1.5	±2
>20～40	±2	±2.5
>40	±2.5	±3

8.6　畸变

畸变量应符合工件的技术要求。

9　安全技术

9.1　应定期对操作人员进行工艺教育。

9.2　热电偶、测温及控温仪表应定期校准。

9.3　其他安全技术按 GB 15735 执行。

第二十二节　硼砂熔盐渗金属

一、概论

硼砂熔盐渗金属是提高工模具表面硬度、耐磨性和使用寿命的一种化学热处理方法。

国内对硼砂熔盐渗金属工艺的研究及生产应用实践表明：该方法具有设备简单，原料经济，无污染及操作方便等特点，易于推广。应用于表面要求高耐磨、耐蚀的机械零件，可数倍乃至十余倍地延长使用寿命，经济效益显著，1991 年曾被国家科委纳入重点推广项目之一。为此，我国于 1994 年制定并颁布了 JB/T 4218—1994《硼砂熔盐渗金属》。于 2007 年对该标准进行了修订，颁布了 JB/T 4218—2007《硼砂熔盐渗金属》。新标准对原有标准的条目和引用标准作了部分调整和补充。

二、标准应用说明

硼砂熔盐具有某些固有特性，例如：熔点虽不高（740℃），但在 850℃左右仍较稠，这虽不利于清洗却有利于渗入金属元素在熔浴中的均匀悬浮；熔融硼砂可溶解任何金属氧化物，限定了渗金属设备只能选用坩埚盐浴炉；渗剂中不能加入供碳组分，依赖被处理件中的碳与熔浴中的金属相互扩散形成碳化物覆层，这又决定了对被处理件中的基体材料碳含量有一定要求等。在本标准制定过程中，依据硼砂熔盐的这些特性，有必要做具体规定。渗金属后的淬火、回火、冷却设备基本沿用 GB/T 16924 中的规定。

1. 渗金属基体材料

硼砂熔盐渗金属以硼砂为基盐，分别添加铬或钒、铌等碳化物形成元素，成分中无供碳组分，依赖被处理件基体中的碳扩散形成碳化物层，因此钢材中碳含量越高越有利。标准中规定碳含量 $w(\mathrm{C})>0.3\%$ ［合金钢 $w(\mathrm{C})>0.2\%$］的材料及铸铁均适用于本方法，不含碳的高合金不适宜本方法处理。

2. 渗金属设备

内热式盐浴炉炉膛由含不同类型金属氧化物耐热砖组成，在此设备内进行硼砂熔盐渗金属，会

造成炉体融蚀，故标准中明确规定采用外热式坩埚炉的规定。坩埚材料规定采用最高使用温度可达1050℃的耐热钢制作，是基于某些钢（Cr12 型）渗金属后直接升温淬火，从目前耐热钢技术参数来看是可以满足的。渗金属盐浴中有效加热区相对于工艺温度的最大偏差定为 ±15℃，是根据这一工艺特点提出来的，实践表明硼砂熔盐流动性相对较差，只要注意工作液面在发热体之下，盐槽面加隔热炉盖，则是完全可以达到的。

3. 渗金属剂

规定铬或钒、铌在熔盐成分中的上限及下限，均系指有效活性金属成分，不同于加入量。上限指新配渗剂。实验及生产验证均表明，低于下限将影响渗入速度。采用渗入金属或合金粉末为活性源时，由于粒度不同溶解速度也不同，溶解的部分可比较均匀悬浮于盐浴中成为有效成分，未溶解的部分往往沉积于盐槽底部。为此测定盐槽中有效成分，必须注意在有效加热区域范围内取样。渗金属操作中提出了搅拌的规定，主要理由是减少沉积物。以渗入金属氧化物加还原剂为活性源时，盐槽中的成分较均匀。

盐浴连续工作过程中，除不断补充新盐外，还需监测盐浴氧化物含量，如超出规定范围应加还原剂予以调整。盐浴使用时间过长时，坩埚底部会出现沉渣，因此对捞渣作了规定。

4. 渗金属及后处理

所规定的渗金属装炉方法、渗金属温度、保温时间等内容，均系根据硼砂浴渗金属的特点一一规定，按此规定执行可保证渗金属工艺的正确实施。

这里特别强调了渗金属温度高于钢件淬火温度时，应空冷、清洗后重新加热淬火，这是基于若不预先清洗干净直接进入中性盐浴中加热，粘附在零件表面的残盐在不能充分溶解的情况下，将与中性盐浴中的 BaO 发生反应而生成偏硼酸钡盐，这种偏硼酸钡盐极难用一般方法清除干净。

高速钢采用本方法处理可获得均匀的碳化物覆层，但随后的淬火加热若在高温盐浴中进行，将会导致碳化物覆层的溶解，因此对高速钢采用本方法获得 VC 或 NbC 等碳化物覆层，为避免碳化物层的破坏，淬火加热宜选用保护气氛或真空加热，这点在标准中未明确规定，特在此予以说明。

对于大件渗金属，若不是渗金属后直接升温加热淬火，大件若在中性盐浴中加热时间过长，将会造成碳化物覆层的部分或全部破坏。为此，标准中规定了推荐保护气氛或真空加热淬火。

5. 残盐清洗

零件渗金属后表面将会粘附一定量的残盐，尤其是渗金属后不需加热淬火的零件表面粘附残盐更多。硼砂有溶于水的性能，且溶解量随温度增高而增加（见表 2. 22-1）。为此，本标准规定了用沸水清洗干净，对于清洗设备未做规定。按此方法处理，渗金属后直接淬火及形状不复杂件，清洗并不困难；至于形状复杂件（如内螺纹、深孔、不通孔等）渗金属后清洗费时，武汉材料保护研究所研究的 S 型或 J 型专用清洗剂，可加速清洗速率。这里还需着重强调应经常更换清洗用水，因为当硼砂在水中的溶解度达到饱和时，溶解将自行终止。

表 2. 22-1　硼砂在水中溶解度与温度的关系

温度/℃	$Na_2B_4O_7$ 在水中的溶解度（%）	温度/℃	$Na_2B_4O_7$ 在水中的溶解度（%）
0	1. 18	60. 8	16. 65
10	1. 76	70	19. 49
20	2. 58	80	23. 38
30	3. 85	90	28. 37
40	6. 0	100	34. 65
50	9. 55	102. 8	36. 75

6. 渗金属层的质量检验

渗金属层质量检验方法，主要参照本标准规范性引用文件中的相关标准进行。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 4218—2007）

硼砂熔盐渗金属

1　范围

本标准规定了钢铁零件在硼砂熔盐中的渗铬、渗钒、渗铌所涉及的基体材料、设备、渗剂、渗金属工艺及后处理、渗层品质检验及安全技术等要求。

本标准适用于要求表面耐磨、耐蚀的钢或铸铁成品及待抛光半成品工件，不适用于待磨削加工的工件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 6462　金属和氧化物覆盖层　厚度测量　显微镜法（GB/T 6462—2005，ISO 1463：2003，IDT）

GB/T 7232　金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DINEN 10052：1994；JIS B 6905：1995）

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

GB/T 9790　金属覆盖层及其他有关覆盖层　维氏和努氏显微硬度试验（GB/T 9790—1988，neq ISO 4516：1980）

GB/T 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 16924　钢件的淬火与回火（GB/T 16924—1997，eqv JIS B 6913：1989）

JB/T 5069　钢铁零件渗金属层金相检验方法

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　硼砂熔盐渗金属　borax bath metallizing

将钢铁零件置于添加铬、铌、钒等碳化物形成元素的氧化物、还原剂或铁合金的熔融硼砂中，使这些元素经反应-扩散过程渗入钢铁零件表面并与其中的碳元素反映形成碳化物层的工艺。

3.2　渗金属层深度　metallized case depth

零件外表面至渗入金属元素所形成碳化物层与基体组织交界面的最短距离。

4　硼砂熔盐渗金属基体材料

碳含量大于3%的碳素钢以及碳含量大于0.2%的合金钢原则上都适用。材质中碳含量较高更有利于形成碳化物层。铸铁适用于本方法，高合金不适用于本方法。

5　渗金属设备

5.1　熔融硼砂具有熔解金属氧化物的特性，加热设备采用外热式坩埚电阻炉。

5.1.1　坩埚采用最高使用温度可达1050℃的耐热钢制件。
5.1.2　坩埚直径小于或等于250mm时，测温热电偶置于坩埚外壁；若直径大于250mm时，应增设直接插入盐浴的测温热电偶。
5.1.3　坩埚有效加热区内的温度偏差应能控制在±15℃范围内。
5.1.4　炉膛底部设溢盐孔以备坩埚渗漏时排出盐液。
5.1.5　坩埚上方应有隔热炉盖。
5.1.6　渗金属炉电热体与坩埚外壁距离应保持50～150mm的间距。浴面应低于最上一圈电热体15～25mm。
5.1.7　坩埚深度大于400mm，直径大于250mm时，坩埚底部应有支撑或加强筋。
5.1.8　定期吊出坩埚检查烧损情况。
5.2　应配备包括热电偶、补偿导线、温度指示与温度控制装置。
5.2.1　在渗金属过程中，温度控制装置控温精度应达到±5范围。
5.2.2　温度调节系统综合误差要求在温度大于400℃时，为±t%℃（t为预定加热温度）。
5.2.3　测温电偶、温度指示仪表应定期校准。

6　渗金属剂

6.1　新配渗剂中铬（钒）的含量应分别≥5%；铌含量≥4%；金属氧化物≤1%。
6.2　连续工作过程中，应不断补充工件带出的盐。盐浴中铬（钒、铌）含量应≥1.5%，金属氧化物≤2%。
6.3　盐槽中金属氧化物含量超出6.2规定时，根据氧化物含量，可加入适量还原剂（与氧亲和力大于铬、钒、铌的金属或化合物）予以调整。底部出现沉渣时应于950℃以上空载保温2～3h，然后降到850℃以下捞渣。

7　渗金属工艺及后处理

7.1　渗金属前的准备
7.1.1　根据图样的要求，确定工艺参数。
7.1.2　工件的外观，不应有锈迹、碰伤和裂纹等缺陷。
7.1.3　按工件的形状确定吊具，对裸露于空气中的吊具宜应采用Ni-Cr不锈钢制作。
7.1.4　调整熔盐成分，使其符合6.1、6.2的规定范围。
7.2　渗金属工艺
7.2.1　渗金属温度为850～950℃，保温时间为3～6h，具体参数视技术要求而定。
7.2.2　盐浴达到预定温度并搅拌均匀后，将经过烘干、预热的工件置于坩埚的有效加热区内。
7.2.3　盐浴温度达到预定温度时，开始计算保温时间。
7.2.4　形状复杂或重要件在渗金属过程中应经常搅动盐浴，使盐浴温度和成分均匀。
7.3　后处理
7.3.1　符合工艺要求的工件，在渗金属保温结束后直接淬火，冷却方式视钢材而定。
7.3.2　工件的淬火加热温度高于渗金属温度时（Cr12型冷作模具钢），可在保温结束后随炉升温至淬火温度，均温后直接淬火。综合力学性能要求较高、晶粒长大倾向大的工件，若渗金属温度高于淬火温度时，应经空冷、清洗后重新加热淬火。
7.3.3　不需要淬火的工件，在渗金属结束后空冷。
7.3.4　用沸水将工件表面残盐清洗干净。
7.3.5　重新加热淬火的渗金属件的淬火加热、回火及冷却设备应符合GB/T 16924的有关规定。大件推荐选用保护气氛或真空炉加热。

8 渗层品质检验

8.1 表面状况

目视检查无剥落、裂纹等缺陷。

8.2 表面色泽

渗铬表面呈银白色，渗钒表面呈淡黄色、铁灰色，渗铌表面呈金黄色。

8.3 表面硬度

按照 GB/T 9790 规定，采用显微维氏硬度计测量。硬度测量偏差不应超过表 1 的规定。

表 1

显微硬度 HV0.05	2400~3400	1400~2400	<1400
硬度偏差 HV0.05	300	200	100

8.4 基体硬度

渗金属后淬火的基体硬度，按照 GB/T 230.1 的规定，采用洛氏硬度计测量。硬度测量偏差不应超过表 2 的规定。

8.5 渗层深度

按照 GB/T 6462、JB/T 5069 的规定，采用金相显微镜（放大 400 倍以上）在制备好的金相试样上测量。硬化层深度的偏差不应超过表 3 的规定。

表 2

工件类型	硬度偏差 HRC	
	单件	同批
重要件	3	3
一般件	4	5

表 3

渗层深度	深度偏差/μm	
	单件	同批
<10	±1	±1.5
≥10	±1.5	±2

8.6 金相组织

应获相应钢种的正常组织。

8.7 畸变

工件畸变量应符合技术要求。

9 安全技术要求

9.1 设备布局和车间配置

渗金属、淬火、回火和清洗槽等设备的布局应力求合理并保留有适当间距。车间应有通风装置及防火措施。

9.2 人员防护

操作人员工作时必须身着工作服、工作鞋、安全帽、戴手套（清洗工件时需戴胶皮手套）及防护面罩（或防护镜）。

9.3 预处理

工件、夹具必须充分干燥方可入炉。

9.4 其他要求

其他安全技术要求应符合 GB 15735 的规定。

第二十三节　盐浴硫氮碳共渗

一、概论

硫氮碳共渗兼具氮碳共渗与渗硫的特点，能赋予工件优良的耐磨、减摩、抗咬死、抗疲劳性能，并改善除不锈钢以外的所有钢铁件的耐蚀性。对于因黏着磨损、非重载疲劳断裂而导致失效的机械构件、刃具和模具具有很好的强化效果。工业生产应用的主要是在590℃以下实施的盐浴硫氮碳共渗。由于处理温度低于相变点，对基体组织与性能无不良影响，且畸变小。

法国于1974年获得专利的Sufinuz工艺，是以氰化物为基，添加硫化物的剧毒盐浴中进行的硫氮碳共渗。此种曾被称为硫氰共渗（Sulphocyaniding）的工艺，20世纪50年代至70年代中期应用广泛。从1952年至1965年由苏联相继开发MA3-2号盐浴ЛИВТ系列（以5号、62号和12号为主）及ЛК3-ЛИВ盐浴和与其配套的硫氮碳共渗工艺。后者的主要原料是尿素、碳酸钾、硫代硫酸钠和氰化钠，浴中的氰根（CN^-）含量比Sufinuz盐浴低得多，但仍可高达20%（质量分数）左右。为了避免污染生态环境，法国HEF（液力机械与摩擦学）研究所于1974年成功研究了名称为Sur-Sulf的无污染硫氮碳共渗新工艺，同时开发了配套的工艺材料：基盐CR4、再生盐CR2。其主要的特点是工作盐浴，即基盐原料中不含氰化物。同时，通过K_2S的氧化产物（$S_2O_3^{2-}$、SO_3^{2-}等）对CN^-的氧化，使共渗盐浴中因化学反应和氰酸根分解而形成的CN^-含量不大于0.8%（质量分数）。

此外，工作状态下从盐浴逸出的气体符合排放标准，清洗水中的微量CN^-无须水处理装置，添加少量化学药品即可使CN^-含量不大于0.5mg/L，从而实现了无污染作业。由于上述优点，Sur-Sulf实际上几乎完全取代了如前所述的各种在高氰盐浴中实施的硫氮碳共渗工艺。

在20世纪50年代末，上海工具厂等企业曾采用苏联明斯克汽车厂开发的2号盐浴，即在MA3-2盐浴进行硫氮碳共渗。因作为供硫剂的FeS重力偏析严重，渗硫作用微弱；黄血盐分解出大量氰化钾以及强化效果不太稳定而未能推广。1964年前后，有些工厂在无毒原料硫氮碳共渗盐浴中添加硫化物，进行所谓“渗硫软氮化”。因主要活性成分CNO^-含量在20%～45%（质量分数）很大范围内波动，且CN^-不断上升，无法控制而渐趋淘汰。

1984年武汉材料保护研究所开发了无污染的LT新工艺，其基盐与再生盐质量，盐浴可控性与被处理工件的耐磨、减摩、抗咬死、抗疲劳性能都达到Sur-Sulf同等水平。所配套的基盐J-1、再生盐Z-1也同时商品化。到2000年，我国已有100多家工厂应用了LT新工艺，用以处理各种机械零件，取得良好的使用效果和经济效益。

本标准于1990年制定，标准编号为ZB J 36018—1990；于1999年进行了第1次修订，标准编号为JB/T 9198—1999；于2008年进行了第2次修订，标准编号为JB/T 9198—2008。

JB/T 9198—2008与JB/T 9198—1999相比，主要变化如下：

1）规范并标出了封面的各种信息。

2）调整并填充了“前言”中的相关要素。

3）增加了相关的“规范性引用文件”，规范了“规范性引用文件”的导语及正确写法。

4）删除了原标准“3 定义”中的相关术语和定义，同时对“无污染作业”的定义给予了补充（见标准中3.2）。

5）将原标准4.1.1内容改为“采用不锈钢坩埚的井式电炉或其他炉型”。

6）将原标准4.1.2内容改为“盐浴有效加热区内的温度控制精度应小于±10℃”。

7）将原标准4.1.3内容改为“硫氮碳共渗炉应配备抽风装置。添加再生盐时应启动抽风机，

含有氨的气体应抽送到比地平面至少高5mm以上的排风口，经处理后排放”。

8）删除“推荐的共渗工艺是实现无污染作业的盐浴硫氮碳共渗工艺”（见标准中6.1上一行的内容）。

9）将“变形”均改为“畸变”（见标准中7.5）。

10）重新规定了“包装、运输、贮存及标志”的要求（见标准中第8章）。

11）重新规定了“安全与环保”的要求（见标准中第9章）。

12）将原标准“附录A（标准的附录）”改为“附录A（规范性附录）”。

13）将原标准“附录B（提示性附录）”改为“附录B（资料性附录）”。

14）规范了“示例”的标准写法（见标准中附录A）。

15）规范了表B.1及图B.1中的图号的写法、表头及图题的位置（见标准中附录B）；

16）增加了相关条的内容（见标准中附录B的B.4内容）。

二、标准应用说明

1. 适用范围

凡属因黏着磨损（拉毛、擦伤后咬死或磨耗至尺寸超差）、非重载疲劳断裂或剥落而引起失效的机械零件、模具及刀具，除回火温度低于510℃的钢种外，90%以上的钢铁牌号的工件，均可通过盐浴硫氮碳共渗，获得优良而稳定的强化效果。共渗盐浴的熔点在460～480℃之间，工作温度的下限应高于510℃。

采用LT新工艺盐浴硫氮碳共渗的部分典型工件有曲轴、花键轴、凸轮轴、非重载齿轮、阀门、泵、液压件、非铁金属挤压或压铸模、塑料模、高精度冲模、高速钢刀具及各种不锈钢件。

2. 术语的说明

（1）无污染作业。符合本标准3.2条所列四款，则视为实现了无污染作业。开发Sur-Sulf工艺的法国HEF研究所、法国国家环保局；Sur-Sulf专利工艺的用户如意大利Nanch缝纫机公司、英国Parkins发动机公司、日本Honda（本田）公司等都予以确认。

德国Degussa公司开发的TF1+AB1（即盐浴氮碳共渗+盐浴氧化）工艺和QPQ处理已有30多个国家的800多家用户。尽管氮碳共渗盐浴中允许CN^-达到或略高于3%（质量分数），但粘有含氰残盐的工件转入AB1氧化浴等温时，CN^-全被氧化成CO_3^-，清洗水中无氰，不经过任何处理即可排放。因此，这30多个国家的用户以及环保部门都将这两种工艺列为实现了无污染作业的无公害技术。

无论是国外的Sur-Sulf、TF1+AB1、QPQ或我国自行开发的LT等新工艺，工作状态下从盐浴逸出的气体都符合排放标准；但添加再生盐，调整盐浴成分时，因化学反应而产生的氨气都超标，应启动抽风机将其排空或用水封回收。

（2）硫氮碳共渗基盐。工作温度下能提供渗入工件的硫、氮、碳原子的共渗用盐。通常是预先通过化学反应合成的商品盐，例如，法国的CR4、我国的J-1。

J-1基盐在工作状态下的化学反应和使CN^-含量控制在0.8%（质量分数）以下的机理如下（为简便起见，反应式中略去了K^+、Na^+、Li^+等金属离子）：

氰酸盐的分解：



$$4CNO^- \rightarrow CO_3^{2-} + 2[N] + 2CN^- + CO \qquad (2.23\text{-}1)$$

氰酸盐的氧化与[C]、[N]的产生：



$$2CNO^- + O_2 \rightarrow CO_3^{2-} + 2[N] + CO \qquad (2.23\text{-}2)$$



$$2CO \rightarrow CO_2 + [C] \qquad (2.23\text{-}3)$$

通入空气(或氧)和浴中产生的 CO_2 使 CN^- 氧化：



$$2CN^- + O_2 \rightarrow 2CNO^- \qquad (2.23\text{-}4)$$



$$CO_2 + CN^- \rightarrow CNO^- + CO \qquad (2.23\text{-}5)$$

氨的分解：



$$2NH_3 \rightarrow 2[N] + 3H_2 \qquad (2.23\text{-}6)$$

随着工作时间的延续，通过反应式（2.23-1）不断产生 CN^-。浴中的 Li^+ 虽能抑制氰酸盐的分解速率，反应式（2.23-4）、式（2.23-5）可减少 CN^-，但只能将其降低并稳定在 3%（质量分数）。为了进一步降低 CN^-，硫化钾逐渐氧化成硫代硫酸钾、亚硫酸钾及硫酸钾，这些负二价硫氧根可氧化氰根并提供活性硫，反应如下：



$$K_2S \rightarrow K_2S_2O_3 \rightarrow K_2SO_3 \rightarrow K_2SO_4 \qquad (2.23\text{-}7)$$



$$S_2O_3^{2-} + 3CN^- \rightarrow 3CNO^- + 2S^{2-} \qquad (2.23\text{-}8)$$



$$SO_3^{2-} + 3CN^- \rightarrow 3CNO^- + S^{2-} \qquad (2.23\text{-}9)$$



$$SO_4^{2-} + 4CN^- \rightarrow 4CNO^- + S^{2-} \qquad (2.23\text{-}10)$$

反应式(2.23-8)、式(2.23-9)、式(2.23-10)使 CN^- 含量降低到 0.1% ~0.8%(质量分数)。

（3）再生盐。使老化的工作盐浴中的 CO_3^{2-} 降低、CNO^- 回升而恢复活性的添加剂，通常是预先合成的商品，如法国的 CR2、我国的 Z-1。

（4）氧化盐。能使已共渗工件粘附的残盐中的微量 CN^- 氧化成 CO_3^{2-} 的等温或分级冷却盐浴。应用广的有德国的 AB1、法国 OX-1 和我国的 Y-1 盐。除上述作用外，还能在工件表面形成耐腐蚀的 Fe_3O_4 膜。

（5）弥散相析出层。化合物层之下，有 γ′相（Fe_4N）、合金氮化物（M_xN_y）及氮碳化合物 $M_x(N, C)_y$ 弥散析出的氮、碳富集区。弥散相析出层又名主扩散层，以区别与化合物层和只有氮固溶的过渡层。

（6）过渡层。无弥散相析出，但氮含量高于基体的固溶强化区称为过渡层，该层只能用显微硬度梯度法测定，法、德、日等国皆用不大于 25gf（0.25N）的载荷测定 HV 或 HK（努氏硬度），并测出至出现第一个低于基体硬度的点为终点。

3. 硫氮碳共渗盐浴工作的温度上限

本标准 6.8 条规定，共渗温度应低于 600℃（绝大多数钢铁工件的共渗温度都在 520 ~580℃）。高于 600℃时 CNO^- 分解与氧化反应速率显著增大，氰根含量快速上升，为保证浴中 CNO^- 的最佳含量，再生盐耗量成倍增长。工件尺寸畸变也远较 580℃以下处理的工件大。若仪表失灵，不慎温度升至 650℃以上，则浴中固有的 $CNO^- + CO_3^{2-} + CN^-$ 约为 56%（质量分数）的规律性被破坏，盐浴将失去稳定性与可控性。

4. 计算盐浴通气量的经验公式

本标准 6.9 条对导入共渗盐浴的压缩空气量，提供了经验计算公式。式中系数 0.1 ~0.15 的指数 2/3 是在一系列重量不等的盐浴过程中实测的大量数据基础上，通过数学归纳而求得的常数。实践证明，随着坩埚中的盐浴重量增大，压缩空气并非成正比增加。例如，30kg 及 300kg 盐浴的通气量分别以（1.25 ±0.25）L/min 和（5.5 ±1.0）L/min 为宜。

推荐的盐浴通气量列于表 2.23-1。

5. 氧化浴分级冷却

氧化浴采用 Y-1 盐，设备为匹配有不锈钢坩埚的井式电炉。氧化工艺：(350 ~380)℃ ×(10 ~20)min。但应注意以下事项：

表 2.23-1 各种容量盐浴的推荐通气量

盐浴重量 G/kg	压缩空气流量 Q/(L/min)	盐浴重量 G/kg	压缩空气流量 Q/(L/min)
30	0.95~1.45	200	3.40~5.10
50	1.35~2.05	300	4.50~6.70
100	2.15~3.20	400	5.40~8.10
150	2.85~4.25	500	6.30~9.45

1）自共渗炉取出的工件，应悬吊于坩埚上方，沥盐 1~3min 后，再缓慢转入氧化浴中，以免反应激烈而使氧化盐溢出。

2）新配方盐浴活性高时，氧化温度应取下限。

6. 化合物层疏松区与致密区

疏松区的小孔隙是由于氮、碳、硫自外而内，[Fe] 自内向外相向扩散的速率相差较大（即 Kirkendall 效应）形成的。孔隙内有硫化铁相富集，因而具有良好的减摩、抗擦伤、抗咬死性能。致密区基本上是 $(Fe, M)_{2\sim3}(N, C)$ 相，含有铬、铝、钼、钒、钨、钛等合金元素的钢铁工件经硫氮碳共渗后，化合物层中还有合金氮化物或氮碳化合物。

7. 显微硬度法与显微硬度梯度法测共渗层深度的差别

如同渗氮和以渗氮为主的其他二元、多元共渗一样，通过以从硫氮碳共渗试样表面垂直测至比基体显微硬度高 30~50HV 处的距离作为共渗层深度。这与化合物层加弥散相析出层的深度大体相同；增氮的固溶强化区，即过渡层则几乎全部排除在外。德、法、意、日、英等国都采用过硬梯度法，即采用不大于 25gf（0.25N）的载荷，从试样表面垂直测至第一个低于基体显微硬度值的距离，定义为共渗层总深度。日本本田、奥地利 Styre 等汽车公司的 45 钢曲轴于（565±10)℃共渗 3h 后，要求表面硬度≥550HV0.025 或≥300HV10 即为合格。此时共渗层总深度≥0.9mm。

8. K_2S 补给量与盐浴中 S^{2-} 的关系

如前所述，二价活性硫 S^{2-} 是通过反应式（2.23-8）~式（2.23-9）产生的。实践证明，控制 K_2S 的加入量，基本上可以达到控制 S^{2-} 含量的目的。处理以改善抗咬死、减摩性能为主要目的的工件（如不锈钢件）或以提高耐磨性能为主的刀具等时，前者的 K_2S 补给量为 3~5g/（100kg 盐浴·24h）；后者减半。S^{2-} 控制范围不必像 CNO^- 那么严，且 S^{2-} 的分析目前只能用成本较高、设备较贵的极谱法，故推荐用定期定量补加 K_2S 的间接控制方法。

9. 盐浴硫氮碳共渗与节约高档金属材料

共渗后摩擦因数降低到未经共渗件的 1/3~1/4；在工业大气、水、碱、海水中的耐蚀性接近于 Cr13 不锈钢。在某些服役条件下，35 钢、45 钢、40Cr 和铸铁件经盐浴硫氮碳共渗或共渗后，在 Y-1 氧化盐中分级（LTC-1 处理）之后，其减摩、抗咬死性能与青铜相近，耐蚀性近于不锈钢。

10. 部分典型工件的共渗工艺和强化效果（见表 2.23-2）。

表 2.23-2 典型工件的共渗工艺和强化效果

工件名称	材料	前处理工艺	盐浴硫氮碳共渗工艺参数				强化效果
			温度/℃	时间/min	CNO^-（质量分数,%）	S^{2-}（质量分数,10^{-4}%）	
能量调节阀	45	调质	565±10	120	35~38	20~40	提高十几倍，原用 1~3 月，现可用 3 年

（续）

工件名称	材料	前处理工艺	盐浴硫氮碳共渗工艺参数				强化效果
			温度/℃	时间/min	CNO^-（质量分数,%）	S^{2-}（质量分数，10^{-4}%）	
轴、齿轮	45、40Cr	调质	565±10	90～180	34～38	15～40	分别提高1～3倍，畸变极小
军工齿轮、操纵杆	35CrMoV	调质	565±10	90～120	34～37	20～40	全面达到进口件水平，硬度梯度更佳，承载能力11级，节约引进费
曲轴	QT600-3	正火	570±10	120～180	34～38	15～40	合格率高于气体或离子氮碳共渗，疲劳强度高于等温淬火或中频淬火
铝合金挤压模与压铸模	4Cr5MoV1Si、3Cr2W8V	淬火	550～570	120～180	35～39	20～60	提高寿命0.7～3倍
硅钢片冷冲头等高精度冷作模	Cr12MoV、Cr12Mo	淬火	520～540	180～240	35～39	20～60	提高寿命1～4倍
摆线齿轮	1Cr18Ni12Mo2Ti①	固溶处理	570±10	120～180	36～40	≥40	抗咬符合提高4～6倍，台架试验时间延长三个数量级
叶轮、中壳	ZGCr28	固溶处理	570±10	180	36～40	≥40	抗咬符合提高4～6倍，台架试验时间延长三个数量级
泵轴、阀门	1Cr18Ni9Ti①、12Cr13、20Cr13、30Cr13	固溶处理	570±10	90～180	35～38	20～60	寿命提高2～4倍
刀具	W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2	淬火、两次回火	550±10	10～30	32～35	<20	寿命分别提高0.5～4倍

① 为不锈钢旧牌号。

（武汉材料保护研究所张良界供稿）

三、标准内容（JB/T 9198—2008）

盐浴硫氮碳共渗

1　范围

本标准规定了盐浴硫氮碳共渗工艺、设备和共渗层质量检验方法。适用于碳素结构钢、合金结构钢、模具钢、高速钢、不锈钢、耐热钢和铸铁制成的工件及刃具、模具。

本标准不适用于回火温度低于510℃（共渗温度下限）的工件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

GB 8978　污水综合排放标准

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

JB/T 5073　热处理车间空气中有害物质的限值

JB/T 7500　低温化学热处理工艺方法选择通则

JB/T 9052　热处理盐浴有害固体废物污染管理的一般规定

3　术语和定义

GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　盐浴硫氮碳共渗　salt bath sulpho nitrocarburizing

在一定温度的盐浴中，使硫、氮、碳渗入工件表层的化学热处理工艺。

3.2　无污染作业　non-pollution production

满足下列条件的盐浴化学热处理作业，称为无污染作业：

a）盐浴原料中不含氰化物及其他有毒、有害物质；

b）工作状态下盐浴中的 CN^-（氰根）含量应小于1%，包括添加剂；

c）盐渣及清洗废水仅添加少量化学药剂，即可达到排放标准（CN^-低于 0.5mg/L）；

d）工作状态下盐面逸出的气体，应符合 JB/T 5073 的规定。

3.3　氧化浴　oxidizing bath

能将共渗工件上粘附的残盐中的微量 CN^-氧化为 CO_3^{2-} 的冷却盐浴。

3.4　硫氮碳共渗层　sulphonitrocarburizing layer

在钢铁表层形成的共渗层是化学成分不同于基体的区域，共渗层包括化合物层和扩散层（弥散相析出层和过渡层）。

3.5　硫氮碳化合物层　sulphonitrocarburizing　compound layer

以 ε 相[$Fe_{2\sim3}$(N，C)或(Fe，M)$_{2\sim3}$(N，C)]为主(M 为合金元素)，含有 FeS、Fe_3O_4 等项组成物质的硫、氮、碳富集区。化合物层外侧为疏松区，内侧为致密区。

3.6　弥散相析出层　precipitation layer

硫氮碳共渗试样冷至室外温，于 300℃ ±10℃ 回火 1h 制样，经腐蚀后在化合物层之下有 γ′相(Fe_4N)、合金氮化物(M_XN_Y)及 M_X(C、N)$_Y$ 等碳氮化物弥散相析出的氮、碳富集区。

3.7　过渡层[α(N)层]　intermediate layer

主扩散层与基体之间无 γ′等弥散析出，但含氮量高于基体的固溶强化区。用 α(N)表示。

4　设备

4.1　盐浴硫氮碳共渗炉

4.1.1　采用不锈钢坩埚的井式电炉或其他炉型。

4.1.2　盐浴有效加热区内的温度控制精度应小于 ±10℃。

4.1.3　硫氮碳共渗炉应配备抽风装置。添加再生盐时应启动抽风机，含有氨的气体应抽送到比地平面至少高 5mm 以上的排风口，经处理后排放。

4.2　盐浴充气装置

充气装置由压缩空气（或氧气瓶）、干燥器、流量计、连接管及插入盐浴的不锈钢管组成。

4.3　预热炉

采用带风扇的井式回火炉或其他电炉。

4.4　油浴炉

采用能将油加热到 120 ~200℃ 的电炉。

5 预备热处理

5.1 结构钢件要求调质处理时，其回火温度不得低于共渗温度。

5.2 刃具与模具应经过淬火、回火，回火温度不得低于共渗温度。

5.3 灰铸铁、球墨铸铁以及对基体性能要求不高的结构钢件，可采用正火或退火处理。

5.4 不同类别的不锈钢工件，可采用固溶、时效处理或淬火、回火，其时效或回火温度不得低于共渗温度。

5.5 形状复杂件和精密零件精磨前，必须进行除应力退火，其温度不得低于共渗温度。

6 盐浴硫氮碳共渗工艺

6.1 共渗前工件应除油、除锈，于350℃ ±20℃预热15 ~30min或烘干后再转入基盐（共渗盐浴）中。

6.2 要求以耐磨为主的工件应在520℃共渗60 ~120min。推荐CNO^-浓度为（32 ±2)%，S^{2-}通常≤10×10^{-6}。

6.3 铸铁工件应在（565 ±10)℃共渗120 ~180min。推荐CNO^-浓度为（34 ±2)%，S^{2-}通常≤20×10^{-6}。

6.4 高速钢刃具应在520 ~560℃共渗5 ~30min。推荐CNO^-浓度为（32 ±2)%，S^{2-}通常≤20×10^{-6}。

6.5 不锈钢及要求较高耐磨、抗咬合性能的工件应在（570 ±10)℃共渗90 ~180min。推荐CNO^-浓度为（37 ±2)%，S^{2-} （20 ~40） $\times10^{-6}$。

6.6 共渗后的工件应按技术要求，分别空冷、水冷、油冷或在氧化浴中分级冷却。

6.7 氧化工艺：要求较高耐磨、耐腐蚀性能及商品外观工件，共渗后应在350 ~380℃氧化浴中氧化10 ~20min。

6.8 共渗盐浴温度不应超过600℃，并应及时捞渣。在上述前提下盐浴可长期使用。

6.9 硫氮碳共渗过程中，通入熔盐的压缩空气量按式（1）计算。

$$Q=(0.10\sim0.15)G2/3 \quad (1)$$

式中 Q——流量（L/min）；

G——盐浴的重量（kg）。

6.10 常规分析的盐浴成分为CNO^-，必要时抽查CN^-，S^{2-}与CO_3^{2-}。在盐浴重量与装炉量基本固定的条件下测出CNO^-下降率后，每周分析一次。

6.11 清洗粘附有硫氮碳共渗盐浴的工件的废水以及从共渗盐浴中捞出的盐渣，应添加能消除氰根的化学药剂处理，符合GB/T 8978要求后方可排放，见附录A。

6.12 共渗后的工件在氧化浴中分级冷却后再清洗，清洗废水不含氰酸根，只作酸碱中和处理。应符合GB 8978要求后方可排放。

7 质量要求与检验方法

7.1 外观

7.1.1 共渗后工件呈均匀黑色或黑灰色，高速钢刀具呈灰褐色。

7.1.2 盲孔、狭缝、螺纹等处不得滞留残盐。

7.1.3 工作面或切削刃等关键部位不允许碰伤和划痕。

7.1.4 经氧化后的工件呈均匀的黑色或棕黑色。

7.2 硬度

7.2.1 表面硬度可检测HV10、HV5或HV1；显微硬度检测HV0.1或HV0.05。

7.2.2 重要性工件要逐件检测表面硬度或每炉随机抽检装炉工件的10% ~20%；一般工件每炉或

每班至少抽检一件。显微硬度仅在检测共渗硬度梯度和仲裁产品品质合格与否时抽查。

7.2.3 几种常用材料的共渗层硬度见表1。

表1 几种常用材料的共渗层深度和硬度

材质	预备热处理方法	硫氮碳共渗工艺		共渗后的冷却方式	硫氮碳共渗层深度①/μm			硫氮碳共渗层硬度②			
		温度/℃	时间/min		化合物层	弥散相析出层	共渗层总深度	$HV0.05_{max}$	HV1	HV5	HV10
45钢	调质	565±10	120~180	空冷、水冷或氧化盐分级冷却	18~25	300~420	650~900	620	360	320	290
35CrMoV		550±10	90~120		12~16	170~240	300~430	850	640	590	550
QT600-3	正火	565±10	90~150		8~13	70~120		820	410	340	300
W18Cr4V	淬火回火	550±10	15~30	空冷或氧化盐分级冷却	0~3	20~45		1120	950	890	850
3Cr2W8V		570±10	90~180		8~15	40~70		1050	820	740	700
1Cr18Ni9Ti	固溶处理	570±10	120~180		10~15	40~80		1070	720	610	560

① 共渗层深度在空冷并经3% HNO_3-C_2H_5OH 腐蚀后测量。

② 共渗层硬度指深度为上限时的最高显微硬度（$HV0.05_{max}$）与最低表面硬度（HV10、HV5、HV1）。

7.3 共渗层深

7.3.1 化合物层及扩散深度的测量采用有关标准推荐的腐蚀剂和测量方法。

7.3.2 一般钢铁牌号工件的硫氮碳共渗，通常只需测定化合物层与弥散相析出层深度。这两层深度之和与从试样表面垂直测至基体显微硬度值高30~50HV处的距离大体相同。不锈钢、耐热钢通常只测化合物层深度；高速钢刀具一般只测弥散相析出层深度。

7.3.3 测定共渗层总深度时，采用显微硬度法，载荷砝码100gf（1N）或50gf（0.5N）。沿着与长试样垂直的方向测量显微硬度，并以出现第一个低于基体硬度有点为过渡层的终点。

7.3.4 几种常用材料的共渗层深度和硬度见表1。

7.4 硫氮碳化合物层显微组织

化合物层疏松区深度（δ_{cp}）、致密区深度（δ_{cd}）和化合物层总深度（δ_c）的控制指标，因工件服役条件对性能的要求不同而异，具体要求和具有代表性的显微组织见附录B。

7.5 畸变超差工件的矫直

畸变超差工件可加压热矫直，加热温度应低于共渗温度。矫直后垂直悬吊在炉中于400℃±10℃保温2~4h。

8 包装、运输、贮存及标志

8.1 盐浴硫氮碳共渗剂必须以桶或纸箱包装，并应有防潮措施。盐浴硫氮碳共渗剂重量每桶不大于50kg或每箱不大于25kg。

8.2 盐浴硫氮碳共渗剂在运输过程中，应保证不损坏、不受潮。

8.3 盐浴硫氮碳共渗剂应存放在干燥的室内。

8.4 包装上应注明产品名称、注册商标、规格、重量、生产商、生产日期、防潮或防破损符号。包装物内应有产品合格证。

9 安全与环保

盐浴硫氮碳共渗过程中的物料管理、工艺操作规程应符合GB 15735、JB/T 7500、JB/T 9052的规定。

附　录　A

（规范性附录）

清洗废水及盐渣的处理方法

A. 1　用含次氯酸钠（NaOCl）的制碱废液清除氰根：

每6. 7g NaOCl 可消除1g CN^-。若制造 NaOCl 的废液中含有5% NaOCl，则 NaOCl 量为58. 7g/L，应可消除8. 76g CN^-。为了便于记忆和做到安全可靠，可按每10g NaOCl 可消除1g CN^-计算废液用量。如果按有效氯浓度标准计算，则［Cl］为30%时，废液含 NaOCl 为74g/L，余类推。

A. 2　用硫酸亚铁及漂白粉消除氰根：

每消除1g CN^-，应加10g $FeSO_4$，3g $Ca(OCl)_2 \cdot 4H_2O$（工业漂白粉）。

示例：每1t 清洗水清洗工件1t 后，CN^-不大于40g，加400g $FeSO_4$、120g$Ca(OCl)_2 \cdot 4H_2O$，搅拌3～5min，静置5～10min 即可排放。

A. 3　共渗盐浴中捞出的渣，含 CN^-低于0. 1%。每1g 渣加入20kg 水。煮沸后加10g $FeSO_4$ 及3g $Ca(OCl)_2 \cdot 4H_2O$ 或加入相当于含10g NaOCl 的制苛性钠的废液，搅拌3～5min，静置5～10min 即可排放。

以上三种处理方法，均可达到 CN^-低于0. 5mg/L 的排放标准。

A. 4　氧化后的清洗废水，当 pH＞9 时需用工业废酸做酸碱中和处理，达到≤9 的排放标准。

附　录　B

（资料性附录）

硫氮碳化合物层的特点和有代表性的显微组织

B. 1　以提高耐磨性并改善耐用蚀性为主，提高抗疲劳及减摩性为辅时，$\delta_{cd} \geqslant 2/3\delta_c$ 且 $\delta_{cd} \geqslant 5\mu m$。

B. 2　要求提高耐磨、减摩、抗疲劳性能时，$\delta_{cd} \geqslant 1/2\delta_c$。

B. 3　以提高减摩、抗擦伤、抗咬死性能为主，改善其他性能为辅时，$\delta_{cp} \geqslant 1/2\delta_c$。

B. 4　硫氮碳化合物层的显微镜组织及说明见表 B. 1。

表　B. 1

图号	材质	预备热处理工艺	硫氮碳共渗化合物层的特点	说　明
a）	35CrMoV	调质	以致密区为主，$\delta_{cd} \geqslant 2/3\delta_c$	
b）			致密区较宽，$\delta_{cd} \geqslant 1/2\delta_c$	
c）			疏松区较宽，$\delta_{cp} \geqslant 1/2\delta_c$	
d）	1Cr18Ni9Ti	固溶处理	疏松区为主，$\delta_{cp} \geqslant 2/3\delta_c$	旨在解决咬死问题时，疏松区可宽达（2/3～3/4）δ_c
e）	W18Cr4V	淬火、回火	无化合物层	高速钢刀具要求弥散相析出层为主，允许的化合物层深度为0～3μm

B. 5　硫氮碳化合物层的显微镜组织见图 B. 1，腐蚀剂为3% 硝酸酒精。

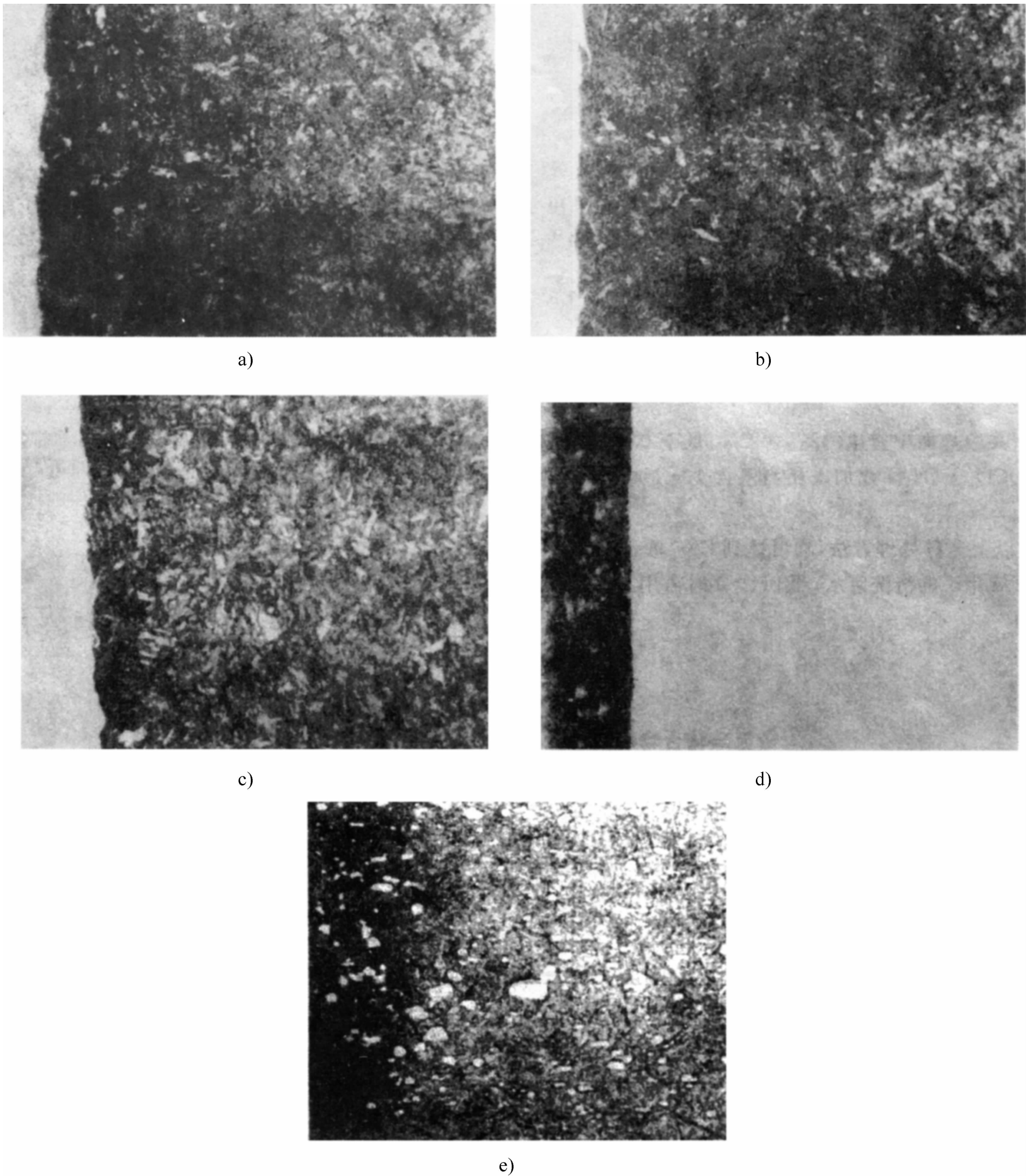


图 B.1 硫氮碳化合物层的显微组织（×500）

第二十四节 金属覆盖层 钢铁制品热浸镀铝技术条件

一、概论

将钢铁工件浸入熔融铝液中并保温一定时间，使铝（及其他附加元素）覆盖并渗入钢铁表面，获得热浸镀铝层的工艺方法称为热浸镀铝，又称为热浸铝、热镀铝、液体渗铝。热浸镀铝是钢铁表面保护手段之一，也是钢铁表面渗金属的化学热处理方法之一。

热浸镀铝材料具有良好的耐热性和耐蚀性，特别是耐硫腐蚀和硫化氢腐蚀性能优良。普通碳素钢、低合金钢进行表面热浸镀铝处理后，可大大延长高温、腐蚀条件下的使用寿命，并且在一定范围内可以代替耐热钢、不锈钢使用，具有较高的使用价值和经济效益。

一些先进的工业国家在热浸镀铝工艺、材料性能、产品生产与应用等方面做了大量的研究与推广工作。1931 年德国开始热浸镀铝材料的耐热性能研究；1943 年美国开始试生产，1946 年形成生产能力；20 世纪 50 年代英、德建立大规模生产线；20 世纪 60 年代日本进行大规模生产。

我国从 20 世纪 50 年代开始热浸镀铝试验研究、试生产及产品推广应用，20 世纪 70 年代建立了生产线，20 世纪 80 年代开发了热浸镀铝钢焊条并开展了焊接性能试验，热浸镀铝产品现已推广应用到石油、电力、化工、冶金、建筑、公路建设、汽车制造等部门。为了提高热浸镀铝生产水平，可靠地控制产品质量，进一步扩大产品推广应用，由武汉材料保护研究所、湖北云梦化工机械厂、中国科学院力学研究所负责起草了本标准。

本标准结合我国国情，在参照国外先进标准的基础上，通过大量的试验、研究、生产实践和实用检验工作，确定了热浸镀铝工艺规范和产品质量技术指标。本标准在国内外首次提出了扩散型热浸镀铝层孔隙级别显微镜评定法、扩散型热浸镀铝层裂纹级别显微镜评定法、扩散型热浸镀铝层与基体金属界面类型评定法，并进一步规范、优化了热浸镀铝层显微镜测厚法。

本标准演变经过如下：

1）ZB J36 011—1989《钢铁热浸铝工艺及质量检验》。

2）JB/T 9206—1999《钢铁热浸铝工艺及质量检验》。

3）GB/T 18592—2001《金属覆盖层　钢铁制品热浸镀铝　技术条件》。

本标准的编制原则如下：

1）为生产企业提供能满足本标准质量要求的、合理的热浸镀铝工艺方法和产品质量检验方法。

2）为热浸镀铝产品提供能满足使用要求的、可靠的质量指标。

3）为生产企业与用户之间建立明确的、统一的热浸镀铝产品验收依据。

4）促进热浸镀铝科研、生产以及推广应用工作不断深入发展。

二、标准应用说明

1. 适用范围

本标准提出的热浸镀铝工艺要点和质量检验方法适用于钢铁件。国内外热浸镀铝产品以钢为主，钢中又以低碳钢和低合金钢为主，故本标准偏重于这类钢件。对于中、高合金钢及铸铁件的工艺与质量检验的不同之处，也作了明确规定。

由于连续式热浸镀铝生产的薄板、线材、带材的工艺方法、质量指标、检验方法有所不同，本标准不包括这些内容。

2. 术语定义

给术语下定义时，尽量做到准确、简明，不与其他术语相混淆。

本标准列入术语 10 条，其中有 3 条参照采用了国外先进标准中的有关术语及定义。例如，3.5 条铝覆盖层，参照采用了 ASTM A 676 中英文名称 aluminum overlay 及其定义。

本标准与 JB/T 9206 相比，去掉了一条“假浸”，增加了一条“合金层 alloy layer”。称“由铝、铁相互扩散形成的铝铁合金层”为“合金层”，不再称“化合物层”；称“浸渍型热浸镀铝层的外表层”为“铝覆盖层”，不再称“铝敷盖层”。

本标准中出现的其他术语解释：

1）热浸镀铝制品（又称热浸镀铝件）。包括覆盖有浸渍型热浸镀铝层的钢铁制品（又称浸铝件）和覆盖有扩散型热浸镀铝层的钢铁制品（又称浸渗铝件）。

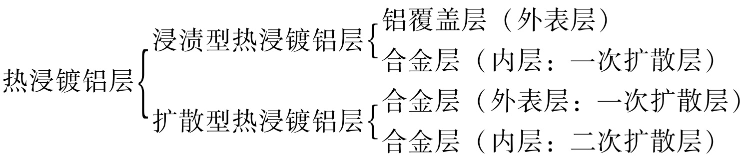
2）浸渍型热浸镀铝层厚度。包括表面铝覆盖层与铝铁合金层厚度之和。

3）扩散型热浸镀铝层厚度。由表面垂直测量至扩散层界面线的距离。

4）扩散层界面线。用金相法显示的扩散型热浸镀铝层与基体金属的界面线。

3. 热浸镀铝层的分类

（1）按处理方式分类



（2）按覆层材料类别分类。本标准与美、日相关标准所列举的热浸镀铝层类型见表2.24-1。

表2.24-1 热浸镀铝覆层材料分类

GB/T 18592	ASTM A676	JIS H9126
铝层（Al）	铝层（Al）	熔融铝1种（HDA1） 熔融铝2种（HDA2） 熔融铝3种（HDA3）
铝硅合金层（Al-Si）	铝硅合金层（Al-Si）	
—	铝锰合金层（Al-Mn）	

4. 材料的质量要求

（1）钢和铁

1）热浸镀铝制品基体材料（钢和铁）的质量要求，应按照相应标准的规定，在热浸镀铝工艺处理前进行试验验收。

2）试验项目包括：化学成分、力学性能、金相组织、焊缝质量、有无宏观缺陷以及规格尺寸检查等。

（2）铝锭。热浸镀铝生产用铝锭的质量要求，本标准规定 $w(\mathrm{Al})$ 不小于99.5%，与ASTM A676所规定指标相同。选材时，可按照GB/T 1196《重熔用铝锭》选用特一级、特二级或一级铝锭。

5. 热浸镀铝工艺流程

生产扩散型热浸镀铝工件时，在扩散处理工序之前，必须认真检验浸渍型热浸镀铝工件，防止不合格工件进入下道工序，以免造成更大浪费。

6. 热浸镀铝工艺方法

（1）脱脂

1）加热脱脂。将工件置于350～500℃的条件下加热脱脂。

2）碱液清洗脱脂。根据生产批量、工件的几何形状、污染程度等因素，确定碱液配方、浓度、温度等参数。

3）有机溶剂清洗脱脂。可自行配置或选用市售清洗剂、石油类清洗剂，在室温条件清洗脱脂。

（2）除锈

1）机械除锈。采用喷砂或手工打磨等方法，除去工件表面锈迹、氧化皮及腐蚀产物。

2）化学除锈。采用硫酸、盐酸、磷酸等酸液，除去工件表面锈迹、氧化皮及腐蚀产物。酸液中应添加适量缓蚀剂，酸洗后应继以中合及水洗。

（3）助镀。助镀是影响热浸镀铝质量的关键工序。经过除油、除锈并清洗干净的工件浸入铝

液之前，必须进行表面助镀处理。助镀方法主要有三种：

1）水溶液法。将工件置于助镀液中浸渍一段时间，取出水洗，并在不大于100℃的条件下干燥。应严格控制助镀液的成分、温度和浓度。此种方法的优点：工艺设备简单，成本低廉，配置方便，助镀效果较好；缺点：溶液调整频繁，助镀质量稳定性较差。

2）熔融盐法。在铝液表面覆盖一层熔融盐，热浸镀铝时工件先经过熔融盐层活化表面后再进入铝液。此法适宜于热浸镀铝炉前设有通风装置的场合。此种方法的优点：助镀效果较好，能防止铝液表面高温氧化；缺点：熔盐在高温下易挥发，有些还有毒气，污染环境，腐蚀设备。

3）气体法。此法适宜于大规模生产时，在铝浴槽与气氛炉密封连接的连续式生产的热浸镀铝操作。可采用氢气还原等方法。美国Almco公司的Sendzimir法采用氢气还原，而K. A. C. C法则采用10% H_2 +90% N_2。此种方法的优点：助镀效果较好，能防止铝液表面高温氧化；缺点：装备复杂，投资较高。

（4）热浸镀铝

1）热浸镀铝液。本标准采用了ASTM A 676标准中相应的铝液成分要求。热浸镀铝液中主要杂质元素铁（主要由钢铁工件表面和铁基铝浴槽表面溶入）是影响热浸镀铝质量的主要因素，其增长速率工艺实验与检测结果见表2.24-2和图2.24-1。本标准规定热浸镀铝液中杂质元素铁的质量分数应控制在2.5%以下，故规定一般使用8h后应取样分析并调整。

表2.24-2　铝液中铁含量测定结果

熔铝时间/h	0	1	2	3	4	5	6	7	8
w（Fe）（%）	0.18	0.46	0.71	0.83	1.03	1.23	1.55	1.95	2.06

注：1. 0.18为铝锭中铁含量。
2. 熔铝温度760℃。

2）热浸镀铝温度。热浸镀铝温度是指工件在给定工艺条件下的铝液中的保温温度。保温温度范围的确定原则是保证热浸镀铝质量，保证铝液工艺性能，减少高温氧化。

热浸镀铝温度原则上应符合标准中表2规定，碳素钢件一般取下限；合金钢、铸铁件一般取上限。热浸镀铝液中，有效加热区温度均匀性也是影响热浸镀铝质量的重要因素，本标准对热浸镀铝温度允许偏差也作了规定。热浸镀铝温度测定应直接在铝液中进行。

3）热浸镀铝时间。热浸镀铝时间是指工件在给定工艺条件下的铝液中的保温时间。

本标准表3给出的热浸镀铝时间适用于碳素钢和低合金钢。由于考虑到某些合金元素（如碳、硅、铬等）不同程度地影响铝在铁基金属中的扩散速度，为了保证中、高合金钢，铸铁的热浸镀铝质量（主要指厚度与涂覆量），适当将热浸镀铝时间增加29%～30%。由于扩散型热浸镀铝层比浸渍型热浸镀铝层要求较厚，应适当增加热浸镀铝时间，目的是在热浸阶段获得较厚的合金层。实验证明，20钢在760℃热浸镀铝12min获得的热浸镀铝层厚度，与在900℃扩散处理1h增加的厚度相当。

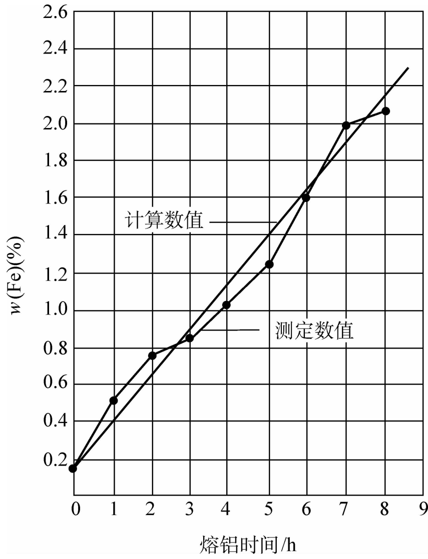


图2.24-1　760℃时铝液中含铁量与熔铝时间的关系曲线

4）热浸镀铝后出炉冷却。热浸镀铝工件出铝液后，应及时采取振动或气吹等方法去除表面多余铝液，并注意

避免高温时急冷。其目的：一是有利于降低铝耗；二是有利于工件表面光洁；三是防止工件产生较大畸变。

（5）校正。热浸镀铝制品畸变超差时，应进行校正处理。覆盖有浸渍型热浸镀铝层的热浸镀铝制品校正处理时，应避免表面层划痕、污染。覆盖有扩散型热浸镀铝层的热浸镀铝制品校正处理时，应避免表面层划痕、污染、剥落或开裂。

（6）表面清理。采用机械方法或化学方法去除热浸镀铝制品表面残留熔渣或其他污物。机械方法注意防止表面伤痕；化学方法注意清洗干净并干燥。

（7）扩散处理。扩散处理是使浸渍型热浸镀铝层转变为扩散型热浸镀铝层的重要工序。本标准根据大量的工艺试验、生产验证、质量检验和产品使用性能考核工作，确立了扩散处理工艺规范。与 ASTM A 676 标准对照见表 2. 24-3。

表 2. 24-3　扩散处理工艺规范对照表

标准编号	保温温度/℃	保温时间/h	冷却方式
GB/T 18592	850 ~ 930	3 ~ 5	炉冷或空冷
ASTM A 676	> 927	> 3	—

本标准规定的扩散保温温度比 ASTM A 676 稍低，定标依据是在此温度范围内足以保证热浸镀铝层厚度和涂覆量要求。例如，一组 20 钢浸铝件（760℃ 热浸镀铝 12min）经过 850℃扩散处理 3h 后，所测得的热浸镀铝层厚度分别为：0. 22mm、0. 24mm、0. 27mm，均符合本标准规定的热浸镀铝层厚要求。降低扩散保温温度有利于减少热浸镀铝层孔隙、裂纹，有利于保证基体金属强度，有利于节能并降低成本。

20 钢在 750℃热浸镀铝后，在不同扩散保温温度条件下保温 5h，所测得的扩散保温温度与热浸镀铝层厚度关系曲线见图 2. 24-2；在 900℃扩散保温温度条件下保温不同时间，测得的扩散保温时间与热浸镀铝层厚度关系曲线见图 2. 24-3。

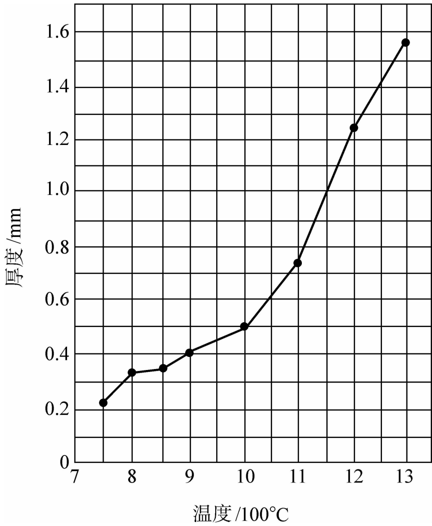


图 2. 24-2　扩散保温温度—厚度关系曲线

1）扩散处理温度与时间。一般扩散保温温度为 850 ~ 930℃；一般扩散保温时间为 3 ~ 5h。若以层厚要求为主，可取扩散保温温度与时间的上限；若以基体金属强度要求为主，可取扩散保温温度与时间的下限。

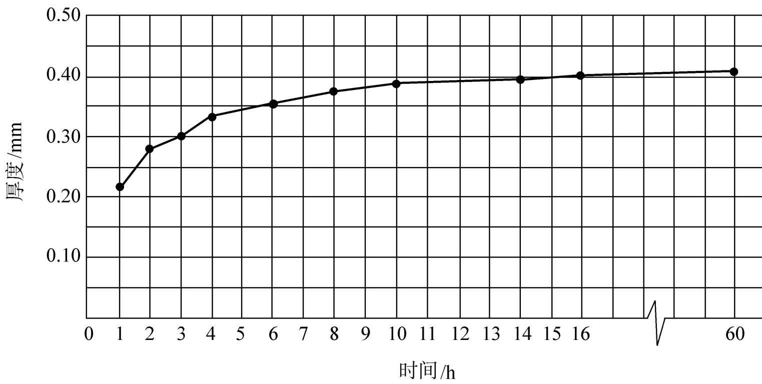


图 2. 24-3　扩散保温时间—厚度关系曲线

2）扩散处理冷却方式。根据热浸镀铝制品基体金属的力学性能要求选定炉冷或空冷。

7. 热浸镀铝层的宏观检验

（1）目视检查

1）基体金属表面形成的热浸镀铝层应连续、完整。

2）浸渍型热浸镀铝制品表面不允许存在明显影响外观质量的漏镀、熔渣及色泽暗淡等缺陷。

3）扩散型热浸镀铝制品表面不允许存在漏渗、裂纹及剥落等缺陷。

（2）附着力试验（刻划试验法）。ASTM A 676 标准规定，浸渍型热浸镀铝层应牢固地附着在铁基体上，使用坚硬的刀尖并施加适当的压力，在平面部位刻划至穿透热浸镀铝层，在刻划线两侧 1/16 in（1.59mm）以外的热浸镀铝层剥落或分层剥落，则认为附着力不够。本标准参照采用了此方法，并规定“在刻划线两侧 2.0mm 以外的铝覆盖层不应起皮或脱落”。

本标准考虑到扩散型热浸镀铝层表面较硬，规定刀尖刻划困难时，允许采取手工锯割，并规定“在平面部位刻划（或手工锯割）至穿透铝铁合金层，在刻划线（或锯割线）两侧 2.0mm 以外的铝铁合金层不应起皮或脱落”。经过验证，根据刻地线（或锯割线）两侧热浸镀铝层剥落宽度，来判断热浸镀铝层在基体金属上的附着力方法简便、明显、有效。

（3）畸变检验。经过热浸镀铝工艺处理后，工件会不同程度地畸变，但畸变量应控制在允许的范围之内。可采取宏观检验方法，用直尺、游标卡尺、千分尺等工具测量热浸镀铝制品的挠曲、伸长、增厚等变形量。

8. 热浸镀铝层的涂覆量测定

（1）本标准制定的热浸镀铝层的涂覆量技术指标与 ASTM A 428、JIS H 8642 比较见表 2.24-4。

表 2.24-4　热浸镀铝层的涂覆量技术指标　（单位：g/m^2）

热浸镀铝层类型		标准编号		
		GB/T 18592	ASTM A 676	JIS H 8642
浸渍型	铝	≥160	≥180	HDA2≥120 HDA1≥110 HDA3—
	铝硅	≥80	≥90	
扩散型	铝	≥240	≥280	

注：表中数据 GB/T 18592 与 ASTM A 676 对应，与 JIS H 8642 不对应。

（2）本标准制定的热浸镀铝层的涂覆量测量方法——溶解称重法参照采用 ASTM A 428 制定，计量单位采用 g/m^2，与 JIS H 8642 相同。

9. 热浸镀铝层的厚度测量

（1）本标准制定的热浸镀铝层厚度技术指标与 ASTM A 676、JIS H 8642 比较见表 2.24-5。

表 2.24-5　热浸镀铝层厚度技术指标　（单位：mm）

热浸镀铝层类型		标准编号		
		GB/T 18592	ASTM A 676	JIS H 8642
浸渍型	铝	≥0.080	≥0.076	HDA1≥0.06 HDA2≥0.07 HDA3≥0.05
	铝硅	≥0.040	≥0.038	
扩散型	铝	≥0.100	≥0.076	

注：表中数据 GB/T 18592 与 ASTM A 676 对应，与 JIS H 8642 不对应。

（2）显微镜测厚法。测厚试样制备按照 GB/T 6462 执行。本标准列入了适用于热浸镀铝层显示的浸蚀剂。根据热浸镀铝层厚度不均的特点，对于测量视场选取、厚度值测量、结果计算都做了明确规定。浸渍型热浸镀铝层厚度为表面铝覆盖层与合金层厚度之和，扩散型热浸镀铝层厚度为试

样表面垂直测量至扩散层界面线的距离，若界面线为双线时，则以测量至近金属基体的那一条界面线为准见图 2.24-4。

（3）测厚仪无损检测法。使用无损测厚仪测厚时，应以已知厚度的表面粗糙度与被测试件相当的标准试样检验测量精度。

（4）仲裁。考虑到热浸镀铝制品表面粗糙度对测厚仪检测精度的影响这一因素，故规定“对测厚仪检测法测量结果有争议时，以显微镜测量法测量结果为准”。

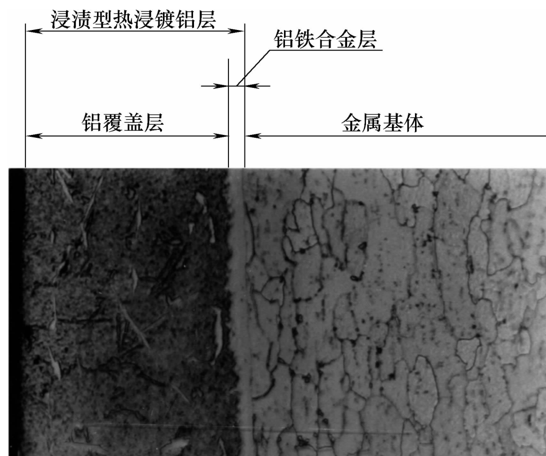


图 2.24-4　浸渍型热浸镀铝（Al-Si）层厚度测量

10. 热浸镀铝层的孔隙级别评定

在热浸镀铝工艺（主要指扩散处理）过程中，由于铝、铁及其他原子扩散速度的差异（有人称之为 Kirkendall 效应），在合金层中不可避免地产生孔隙。产生的孔隙尺寸、数量及分布与热浸镀铝铝液的化学成分、扩散处理工艺有关，也与基体金属材料的化学成分与结构有关。孔隙级别大小、数量多少、分布层深直接影响热浸镀铝制品的焊接性、耐热性、耐蚀性及其他使用性能与使用寿命，因此，热浸镀铝层孔隙级别是一个非常重要的质量指标。本标准规定，热浸镀铝层的孔隙级别评定以“最大孔隙尺寸”“是否构成网络”为判据。考虑到热浸镀铝层对基体金属的可靠防护，并规定“有孔隙层厚度不得大于热浸镀铝层厚度的四分之三”，意在近基体部位应有无孔隙的致密防护层。

应提请注意的是，扩散型热浸镀铝层中有时会出现颗粒状的石墨或碳化物，其形貌与孔隙有些相似，评判时应注意加以区别。

孔隙级别分为 1 ~ 6 级，本标准一般规定 1 ~ 3 级合格，4 ~ 6 级不合格，是对产品的一般要求；由于热浸镀铝制品应用范围广，对质量要求也有所不同，可以根据产品使用条件，适当提高或降低合格级别，但应在产品订货技术条件中明确规定。

11. 热浸镀铝层的裂纹级别评定

在热浸镀铝工艺（主要指扩散处理）过程中，由于铝、铁及其他原子扩散与化合，产生相变硬化等因素，在合金层产生裂纹的概率较大。裂纹长度、数量、分布的状态、层深与热浸镀铝铝液的化学成分、扩散处理工艺有关，也与基体金属材料的化学成分与结构有关。裂纹级别大小、数量多少、分布层深直接影响热浸镀铝制品的焊接性能、耐热性能、耐蚀性及其他使用性能与使用寿命。热浸镀铝层的孔隙级别评定以“单位面积内裂纹总长度”“裂口宽度”“是否构成网络”为判据，并规定“裂纹分布深度不得大于热浸镀铝层厚度的四分之三”。

裂纹级别分为两个系列：

甲系列裂纹分为 0 ~ 6 级，适用于碳素钢和低合金钢的热浸镀铝层的裂纹级别评定。

乙系列裂纹分为 1 ~ 7 级，适用于中、高合金钢的热浸镀铝层的裂纹级别评定。

可以根据产品使用条件，适当提高或降低合格级别，但应在产品订货技术条件中明确规定。

12. 扩散型热浸镀铝层与基体金属界面类型评定

本方法作为参考件列入标准。界面类型评定是从金相角度，根据扩散型热浸镀铝层与基体金属界面结合形状，来判定扩散型热浸镀铝层与基体金属结合性能的质量指标，根据界面线形状特征分为五种类型。实践证明，扩散型热浸镀铝层与基体金属结合性能以曲面结合（界面线为曲线）为佳，平面结合（界面线为直线）较差。结合性能由 A 型至 E 型逐渐降低，E 型与前四型性能差异

较大，为受压受力使用状态所不允许，故“原则上规定 A 型、B 型、C 型合格，D 型合格与否，可根据产品使用条件由用户与生产厂商定”，E 型不合格。并预先在产品订货技术条件中明确规定。本方法还可用来帮助分析扩散处理工艺是否正常，以及对其他质量指标的影响。

13. 热浸镀铝件的力学性能

本标准规定，拉力试验时试样应保留表面热浸镀铝层。因产品一般是根据基体金属壁厚来核定强度指标的，所以“在计算强度时，热浸镀铝工艺产生的表面增厚尺寸不应叠加入试件截面尺寸”。覆盖有浸渍型热浸镀铝层的工件表面增厚尺寸大致与铝覆盖层厚度相当，覆盖有扩散型热浸镀铝层的工件表面增厚尺寸大约为 0.05mm。

14. 抽样与检验项目的确定

（1） 分组与分批

1） 浸渍型热浸镀铝产品按生产班次分组。

2） 扩散型热浸镀铝产品按扩散处理炉次分组。

3） 按订货合同一次交货的一组或若干组热浸镀铝产品为一批。

（2） 随机抽样。每批热浸镀铝产品随机抽取样品三件。检验项目的确定：

1） 每件试样都进行热浸镀铝层厚度测量、孔隙级别评定、裂纹级别评定和力学性能试验。

2） 也可根据具体情况与用户协商确定抽样件数、检验部位与检验项目。

3） 热浸镀铝层厚度与涂覆量两个指标中可以只检测其中一个。ASTM A 676 标准允许以测定涂覆量代替测厚；本标准允许以测厚代替测定涂覆量。

4） 允许以热浸镀铝层与基体金属界面类型评定代替附着力试验。

15. 产品验收

1） 产品验收工作应在交货前做完。

2） 热浸镀铝生产厂的检验报告和产品合格证书应在交货时一起提供。

3） 用户对不合格产品有拒收权利，但应在收货后的 30 个工作日内将拒收理由通知生产厂。

16. 产品包装与标记

1） 热浸镀铝产品应妥善包装，防止碰伤和锈蚀，确保用户收货后满足使用要求。

2） 符合本标准要求的热浸镀铝产品应注上 GB/T 18592 标记，以及相应的覆层材料类型、生产厂名称、生产批号、出厂日期。

17. 贯彻本标准应注意的问题

1） 热浸镀铝生产厂对用户委派的检验人员到现场进行产品验收工作时，应提供方便（ASTM A 676 标准中对此也有明文规定）

2） 热浸镀铝件金相检验（包括孔隙与裂纹级别评定、测厚、界面类型评定）试样应在宏观检验合格的工件或试件上选取，避开宏观缺陷部位。

3） 扩散型热浸镀铝层孔隙与裂纹评定抽取 3 个检验试样，一般要求 3 件都符合合格指标，若有关技术条件另有规定时，可采用 3 个试样孔隙级别或裂纹级别的算术平均值（小数部分四舍五入修约为整数）来判定是否合格。（湖北云梦化工机械厂赵晓勇供稿）

三、标准内容（GB/T 18592—2001）

金属覆盖层　钢铁制品热浸镀铝技术条件

1　范围

本标准规定了钢铁热浸镀铝工艺要求和热浸镀铝层质量检验方法。本标准适用于耐热耐腐蚀要

求的钢铁结构制品。不适用于连续式生产的热浸镀铝薄板、带材和线材制品。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 228—1987 金属拉伸试验法

GB/T 1196—1993 重熔用铝锭

GB/T 4956—1985 磁性金属基体上非磁性覆盖层厚度测量 磁性方法（eqv ISO 2178：1982）

GB/T 6462—1986 金属与氧化物覆盖层 横断面厚度显微镜测量方法（eqv ISO 1463：1982）

GB/T 9790—1988 金属覆盖层及其他有关覆盖层 维氏和努氏显微硬度试验（neq ISO 4516：1980）

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 热浸镀铝（热浸铝，热镀铝，液体渗铝） hot dipped aluminum

将钢铁工件浸入熔融铝液中并保温一定时间，使铝（及其他附加元素）覆盖并渗入钢铁表面，获得热浸镀铝层的工艺方法。

3.2 热浸镀铝层 hot dipped aluminum coating

采用热浸镀铝工艺方法在钢铁表面形成的铝及铝铁合金层，分为浸渍型热浸镀铝层和扩散型热浸镀铝层。

3.3 浸渍型热浸镀铝层 as-dipped aluminum coating

直接在铝液中热浸镀后得到的镀层。外层为铝覆盖层，内层为铝铁合金层。

3.4 扩散型热浸镀铝层 diffused aluminum coating

在铝液中热浸镀后再经扩散处理得到的热浸镀铝层。该层全部由铝铁合金层构成。

3.5 铝覆盖层 aluminum overlay

浸渍型热浸镀铝层的外表层，其成分基本上与铝液成分相同。

3.6 合金层 alloy layer

主要由铝、铁互扩散形成的铝铁合金构成。

3.7 有效浸镀铝区 effective area of hot dipped aluminum

在铝液中，铝液成分和加热温度都能满足热浸镀铝工艺要求的装料区域。

3.8 漏镀 uncoating

浸渍型热浸镀铝制品外观检查存在的局部未浸镀上铝的现象。

3.9 漏渗 undiffusing

扩散型热浸镀铝制品外观检查存在的局部没有形成铝铁合金层的现象。

3.10 热浸镀铝层涂敷量 weight of coating

热浸镀铝后涂敷至工件表面的铝（及其他附加元素）的质量，以单位面积内增加的质量 g/m^2 表示。

4 热浸镀铝层的分类

4.1 按处理方式分类

a）浸渍型热浸镀铝层。

b）扩散型热浸镀铝层。

4.2 按覆层材料类别分类

a）铝层。

b）铝-硅合金层。

5 材料的质量要求

5.1 钢和铁

热浸镀铝制品基体材料（钢和铁）的质量要求应符合相应的国家标准或行业标准的规定。

5.2 铝锭

热浸镀铝用铝锭含铝量不小于99.5%，GB/T 1196中的特一级、特二级或一级铝锭均适用。

6 热浸镀铝工艺流程

6.1 浸渍型热浸镀铝工艺流程

除油→除锈→助镀→热浸镀铝→校正→清理→检验

6.2 扩散型热浸镀铝工艺流程

除油→除锈→助镀→热浸镀铝→校正→清理→检验→扩散处理→校正→清理→检验

7 热浸镀铝工艺方法

7.1 除油

必须除尽工件表面油污，可采取低温加热除油或碱液清洗除油或有机溶剂清洗除油等。

7.2 除锈

必须除尽工件表面锈蚀产物。可采取机械除锈或化学除锈方法。

7.3 助镀

经除油除锈并清洗干净的工件在进入铝液之前必须助镀，助镀方法可采取水溶液法，熔盐法或气体法等。

7.4 热浸镀铝

7.4.1 热浸镀铝液

在有效热浸镀铝区的铝液化学成分原则上应符合表1规定。热浸镀铝液一般每使用8h后应取样分析并调整。铝液表面浮渣应及时去除，液底熔渣也应定期去除。

表1 热浸镀铝液化学成分（质量分数,%）

覆层材料类别	硅	锌	铁	其他杂质总量	铝
铝	≤2.0	≤0.05	≤2.5	≤0.30	余量
铝-硅	4.0~10.0	≤0.05	≤4.5	≤0.30	余量

7.4.2 热浸镀铝温度

热浸镀铝温度原则上应符合表2规定。碳素钢件一般取下限；合金钢、铸铁件一般取上限。热浸镀铝液的有效热浸镀铝区温度偏差±10℃。

表2 热浸镀铝液温度 （单位:℃）

覆层材料类别	保温温度
铝	700~780
铝-硅	670~740

7.4.3 热浸镀铝时间

推荐碳素钢、低合金钢件的热浸镀铝时间见表3，相同壁厚的中、高合金钢，铸铁件的热浸镀铝时间应增加20%~30%。

7.4.4 出炉冷却

表 3　碳素钢热浸镀铝时间

工件壁厚 mm	热浸镀铝时间/min		工件壁厚 mm	热浸镀铝时间/min	
	浸渍型热浸镀铝层	扩散型热浸镀铝层		浸渍型热浸镀铝层	扩散型热浸镀铝层
1.0~1.5	0.5~1	2~4	4.0~6.0	3~4	8~10
1.5~2.5	1~2	4~6	>6.0	4~5	10~12
2.5~4.0	2~3	6~8			

工件出铝液后，及时采取振动或气吹等方法去除表面多余铝液，空冷至室温，并注意避免高温时急冷。

7.5　校正

热浸镀铝件变形超差时，应进行校正处理。

7.6　表面清理

采用机械方法或化学方法去除热浸镀铝件表面残留熔渣或其他污物。化学方法清理后应清洗干净并干燥。

7.7　扩散处理

7.7.1　一般扩散保温温度 850~930℃；保温时间 3~5h。若以层厚要求为主，可取扩散保温温度与时间的上限；若以基体金属强度要求为主，可取扩散保温温度与时间的下限。

7.7.2　扩散处理后的冷却方式，应根据所要求的基体金属的力学性能选定炉冷或空冷。

8　热浸镀铝层的宏观检查

8.1　目视检查

8.1.1　基体金属表面形成的热浸镀铝层应连续、完整。

8.1.2　浸渍型热浸镀铝制品表面不允许存在明显影响外观质量的熔渣、色泽暗淡以及漏镀等缺陷。

8.1.3　扩散型热浸镀铝制品表面不允许存在漏渗、裂纹及剥落等缺陷。

8.2　附着力试验

8.2.1　浸渍型热浸镀铝层

使用坚硬的刀尖并施加适当的压力。在平面部位刻划至穿透表面铝覆盖层。在刻划线两侧 2.0mm 以外的铝覆盖层不应起皮或脱落。

8.2.2　扩散型热浸镀铝层

使用坚硬的刀尖并施加适当的压力，在平面部位刻划（或手工锯割）至穿透铝铁合金层，在刻划线（或锯割线）两侧 2.0mm 以外的铝铁合金层不应起皮或脱落。

8.3　畸变检验

用直尺、游标卡尺、千分尺等测量热浸镀铝制品的挠曲、伸长、增厚等畸变量。

9　热浸镀铝层的涂敷量测定（称重法）

9.1　热浸镀铝层的涂敷量应符合表 4 规定。

表 4　热浸镀铝层的涂敷量　　（单位：g/m^2）

类　型	覆层材料	涂敷量
浸渍型	铝	≥160
	铝-硅	≥80
扩散型	铝	≥240

9.2　涂敷量测量方法

9.2.1　随炉附带试样法

以机械方法从工件上切取试样或选取与工件同一批料的平行试样。试样经除油、去锈后称得热浸镀铝前质量 W_1（g，精度为 0.01g）。试样随工件一起热浸镀铝，再称得热浸镀铝后质量 W_2（g，精度为 0.01g）。用游标卡尺测量（精度为 0.1mm）出试样的热浸镀铝面积 S（mm^2）。可计算出该批工件热浸镀铝的单位面积涂敷量 C（g/m^2）：

$$C = K\frac{W_2 - W_1}{S} \qquad K = 1 \times 10^6$$

9.2.2　溶解称重法

溶解称重法按本标准附录 A（标准的附录）进行。

10　热浸镀铝层的厚度测量

10.1　热浸镀铝层的厚度应符合表 5 规定。

表 5　热浸镀铝层的厚度　（单位：mm）

类　型	覆层材料	厚度
浸渍型	铝	≥0.080
	铝-硅	≥0.040
扩散型	铝	≥0.100

10.2　显微镜测量法

10.2.1　试样制备

测厚试样的制备按照 GB/T 6462 进行。推荐显示热浸镀铝层厚度的浸蚀剂见表 6。

表 6　显示热浸镀铝层厚度的浸蚀剂

编号	浸　蚀　剂	适用范围
1	硝酸溶液（d①＝1.42）4mL 95%乙醇溶液 96mL	各类钢铁的浸渍型热浸镀铝层界面线及组织显示
2	硝酸溶液（d①＝1.42）5mL 95%乙醇溶液 85mL 氢氟酸溶液（d①＝1.14）10mL	各类钢铁的扩散型热浸镀铝层界面线及组织显示

①　d 为相对密度。

10.2.2　测量视场的确定

按试样横断面长度分成 6 等分，并以中间的 5 个等分点作为测量视场（见图 1）。

10.2.3　厚度值的测量

在每个测量视场测出热浸镀铝层最大厚度值与最小厚度值（见图 2 和图 3）。

10.2.4　结果计算

取 5 个测量视场测得的 10 个测量值（5 个最大值 δ_{max} 和 5 个最小值 δ_{min}）的算术平均值为热浸镀铝层厚度。

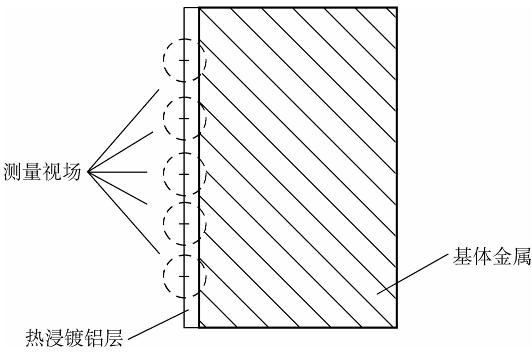


图 1　热浸镀铝试样测量视场确定法

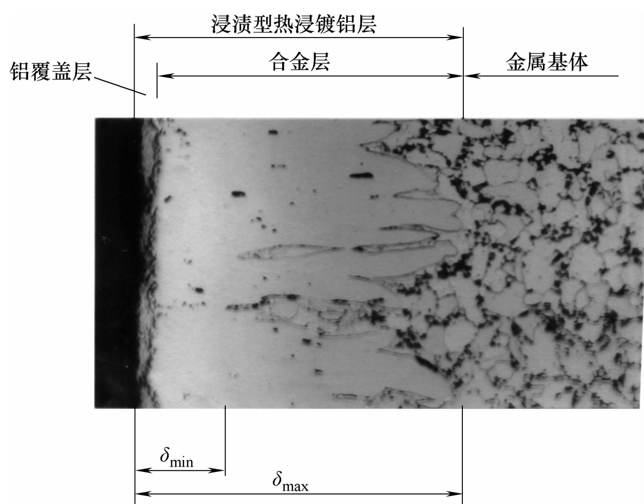


图 2　浸渍型热浸镀铝层厚度测量法

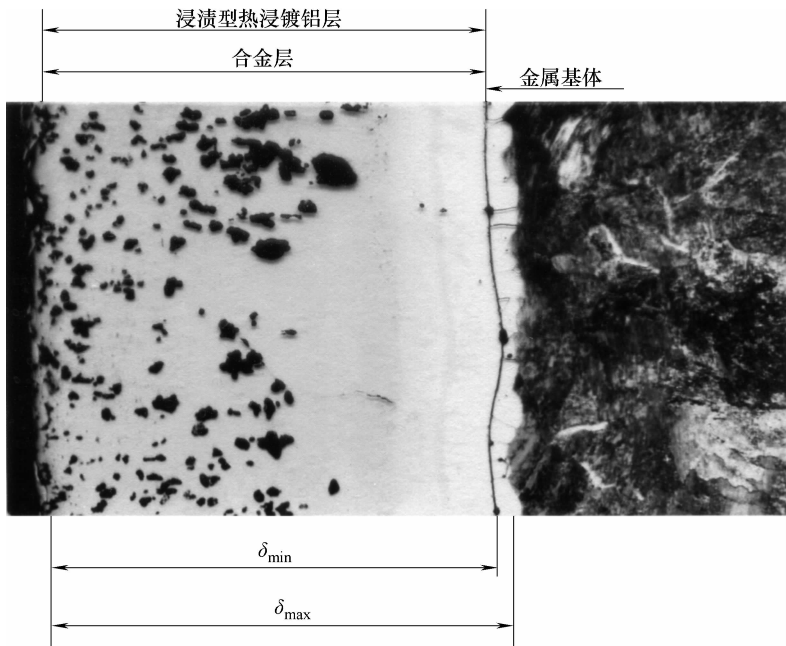


图 3　扩散型热浸镀铝层厚度测量法

10.3　测厚仪检验法

10.3.1　采用磁性测厚仪按 GB/T 4956 规定测量热浸镀铝层厚度。

10.3.2　测厚时，在每个检测位置取 5 点读数的平均值作为一次测量值。每个测量件的三次测量值都符合表 5 规定为合格。

10.4　仲裁

对测厚仪检测法测量结果有争议时，应以显微镜测量法（GB/T 6462）测定结果为准。

11　扩散型热浸镀铝层的孔隙级别评定

11.1　扩散型热浸镀铝层的孔隙级别评定方法见附录 B（标准的附录）。

11.2　孔隙合格级别根据产品使用条件确定。一般规定孔隙 1～3 级合格，4～6 级不合格。

11.3　有孔隙层厚度不得大于热浸镀铝层厚度的四分之三。

12　扩散型热浸镀铝层的裂纹级别评定

12.1　扩散型热浸镀铝层的裂纹级别评定方法见附录 C（标准的附录）。

12.2　碳素钢及低合金钢扩散型热浸镀铝层裂纹级别（甲系列）见附录 C，按表 C1 和图 C1 进行评定；中、高合金钢扩散型热浸镀铝层裂纹级别（乙系列）见附录 C，按表 C2 和图 C2 进行评定。裂纹合格级别根据产品使用条件确定。一般规定甲系列裂纹 0～3 级合格，4～6 级不合格；乙系列裂纹 1～4 级合格，5～7 级不合格。

12.3　裂纹深度不得大于热浸镀铝层厚度的四分之三。

13　扩散型热浸镀铝层与基体金属界面类型评定

13.1　扩散型热浸镀铝层与基体金属界面类型根据热浸镀铝层界面形状分为五种类型，评定方法见附录 D（提示的附录）。

13.2　原则上规定 A 型、B 型、C 型合格，E 型不合格，D 型合格与否，可根据产品使用条件由用户与生产厂商定。

14　热浸镀铝件的力学性能

14.1　拉力试验

14.1.1　以机械方法从热浸镀铝件上切取试样（保留表面热浸镀铝层）或取同一批材料中的试样随同工件按同一热浸镀铝操作条件处理。

14.1.2　试样的制作及拉力试验方法按照 GB/T 228 或根据有关规程进行。

14.1.3　计算强度时，因热浸镀铝工艺产生的表面增厚尺寸不应叠加入试件截面尺寸。

14.2　显微硬度试验

热浸镀铝层的显微硬度试验按照 GB/T 9790 进行。

14.3　基体性能试验

热浸镀铝件基体金属的机械性能试验项目和技术指标，由用户与生产厂在产品订货技术条件中商定。

15　抽样与检验项目的确定

15.1　按订货合同一次交货的、规格尺寸相同的、经目视检验合格的一批热浸镀铝件中至少随机抽取三件。

15.2　每件试样都作热浸镀铝层厚度测量、孔隙级别评定、裂纹级别评定和力学性能试验；也可以根据具体情况与用户协商确定抽样件数、抽取部位与检验项目。允许以热浸镀铝层的涂敷量代替热浸镀铝层厚度的测量；允许以热浸镀铝层与基体金属界面类型评定代替刻划试验。

16　产品验收

交货时，应按本标准进行验收并提供验收报告和产品合格证书，不符合本标准 8～12、14～15 章中任何一项技术要求时，应视为验收不通过。

17　产品包装与标记

17.1　包装

热浸镀铝产品应妥善包装，防止碰伤和锈蚀。

17.2　标记

符合本标准要求的热浸镀铝产品应注上 GB/T 18592 标记以及相应的覆层材料类型，生产厂名称、生产批号、出厂日期。

附 录 A
（标准的附录）
热浸镀铝层涂敷量试验方法　溶解称重法

本附录规定了溶解称重法测量热浸镀铝层涂敷量试验方法和涂敷量的计算方法。

A1　基本原理

采用化学方法将热浸镀铝层溶解，并称得热浸镀铝层溶解前后的质量，通过计算得出的溶解前后单位面积上的质量差即为热浸镀铝层的涂敷量。

A2　取样

A2.1　根据本标准第15章规定数量从当批工件中随机抽取试样。工件较大时，可在工件有代表性的部位截取一部分作为试样，具体的部位由供需双方协商。

A2.2　每个试样的热浸镀铝层表面积不得低于2000mm²。

A2.3　用有机溶剂或其他合适的溶剂清洗试样表面，干燥后称得溶解前质量 W_1（g，精度为0.01g）。

A3　溶解方法

A3.1　溶解液及配制

A3.1.1　$SbCl_3$-HCl 溶液

将200g三氯化锑（$SbCl_3$）溶于1000mL盐酸（HCl，相对密度1.19）中。

A3.1.2　$SbCl_2$-HCl 溶液

将100g二氯化锑（$SbCl_2 \cdot 2H_2O$）溶于1000mL盐酸（HCl，相对密度1.19）中。

A3.1.3　$SbCl_3$-$SbCl_2$-HCl 溶液

将A3.1.1和A3.1.2中所配制溶液各取100mL混合后备用。若所测试的热浸镀铝层厚度很厚或所取试样镀层表面积超过2000mm²，则应增加溶解液的配制量，但是两种溶液的比例仍应保持1∶1（体积比）。

A3.2　溶解方法

将试样完全浸入$SbCl_3$-$SbCl_2$-HCl溶液中溶解去除热浸镀铝层，直到停止产生气泡为止。溶液温度不得超过38℃。将试样取出，在自来水中冲洗并用软织物擦拭去除试样表面的反应产物。热风干燥，冷却后称取镀层溶解后试样的质量 W_2（g，精度为0.01g）。

A4　测量试样热浸镀铝层表面积

用游标卡尺测量试样热浸镀铝层表面积 S（mm²）。

A5　热浸镀铝层涂敷量计算

根据以上测量结果，可计算出工件热浸镀铝层涂敷量 C（g/m²）为

$$C = K\frac{W_1 - W_2}{S} \qquad K = 1 \times 10^6$$

附 录 B
（标准的附录）
扩散型热浸镀铝层孔隙级别显微镜评定法

B1　仪器

各种类型的金相显微镜。

B2　试样制备

B2.1　以机械方法在冷态切取试样，其横断面应垂直于热浸镀铝层。

B2.2　试样应镶嵌或用夹具夹持，以防倒角。

B2.3　试样研磨后进行抛光。

B3　孔隙级别评定

B3.1　孔隙级别评定在试样抛光面进行。

B3.2　孔隙级别按表 B1 和评级图 B1 进行评定，共分为 6 级。

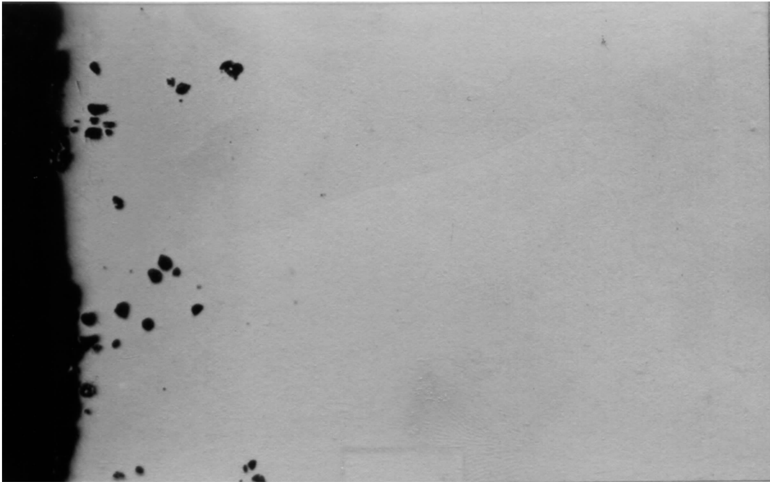
B3.3　评定结果以试样最大孔隙级别表示。

B3.4　放大倍率一般为 200 倍。

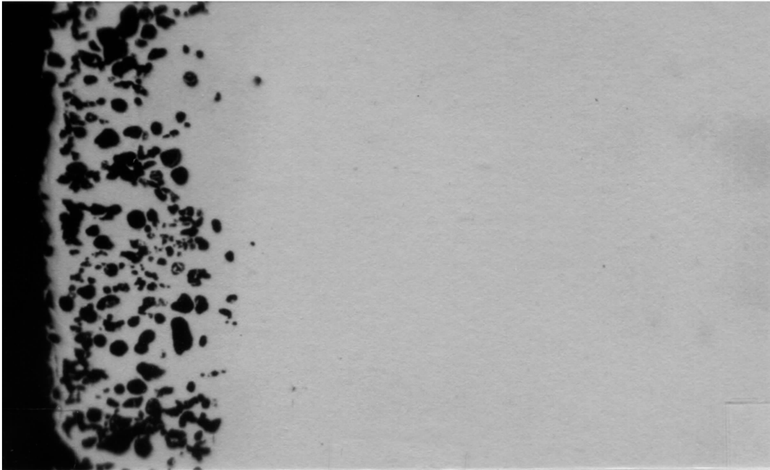
表 B1　孔隙级别与特征　（单位：mm）

级别	最大孔径	补充说明	级别	最大孔径	补充说明
1	≤0.015		4	>0.060~0.120	
2	>0.015~0.030		5	>0.120	未构成网络
3	>0.030~0.060		6	>0.120	已构成网络

注：椭圆形孔径以其长短轴的算术平均值确定。

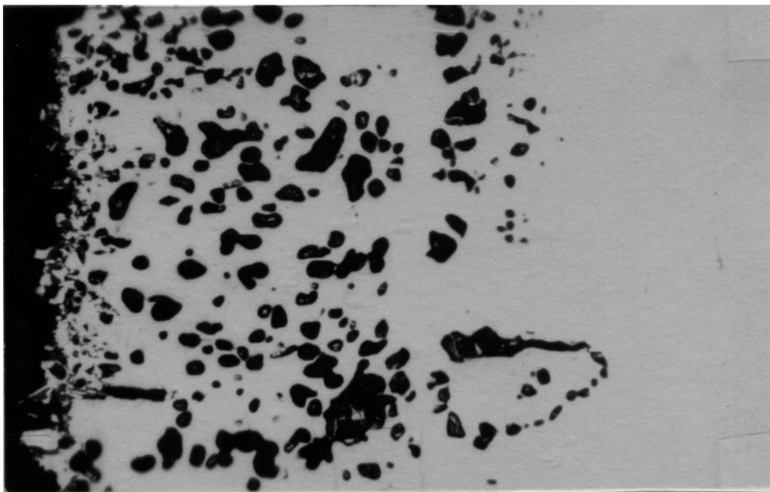


1级



2级

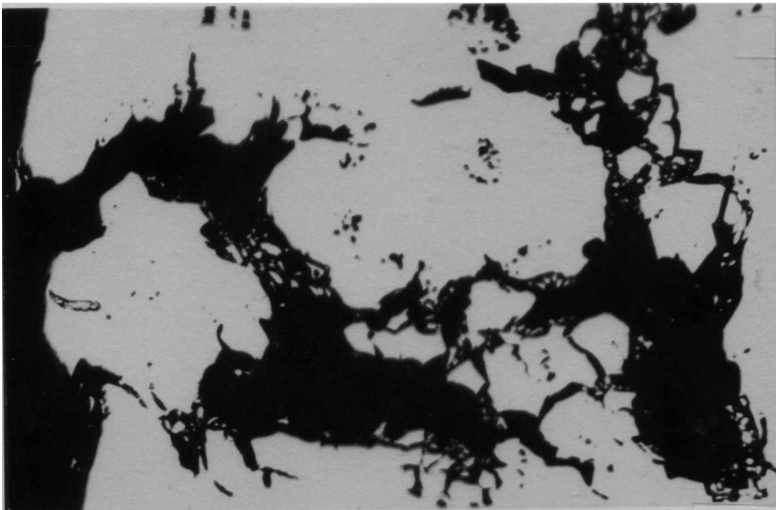
图 B1　孔隙评级图（×200）


3级


4级


5级

图 B1　孔隙评级图（×200）（续一）



6级

图 B1　孔隙评级图（×200）（续二）

附　录　C

（标准的附录）

扩散型热浸镀铝层裂纹级别显微镜评定法

C1　仪器

见附录 B 中的 B1。

C2　试样制备

见附录 B 中的 B2。

C3　裂纹级别评定

C3.1　裂纹级别评定在试样抛光面进行。

C3.2　碳素钢、低合金钢扩散型热浸镀铝层的裂纹级别（甲系列）按表 C1 和评级图 C1 分为 7 级。



0级

图 C1　甲系列裂纹评级图（×200）



1级

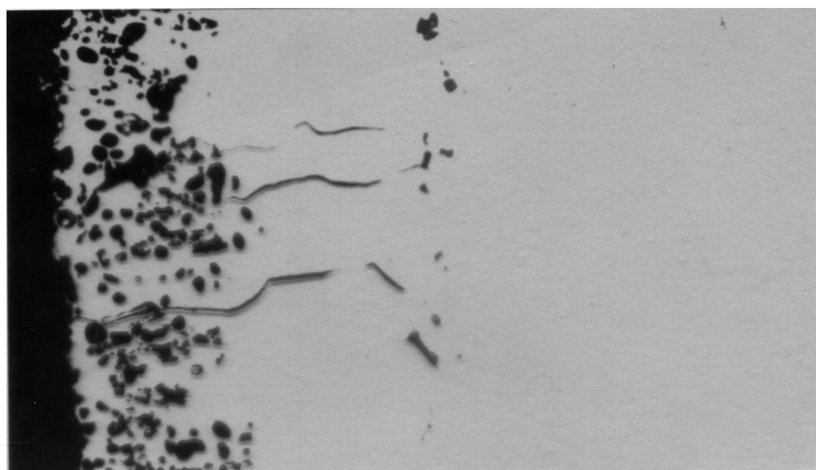


2级



3级

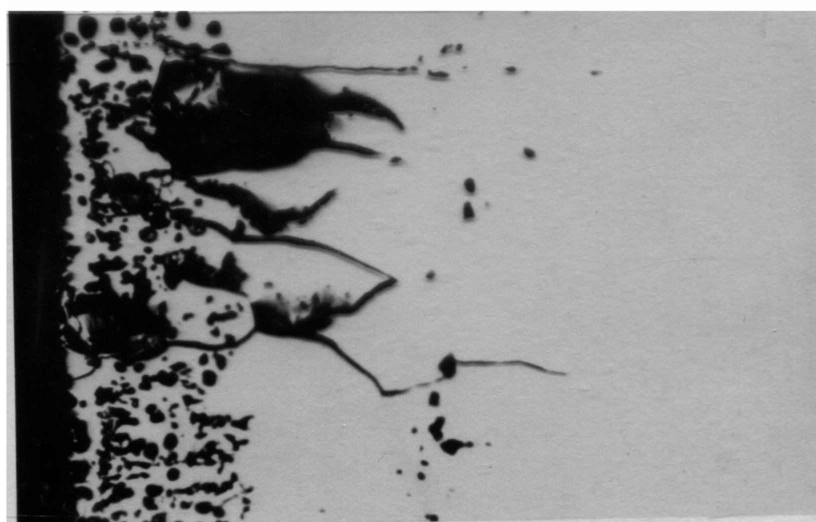
图 C1　甲系列裂纹评级图（×200）（续一）



4级



5级



6级

图 C1　甲系列裂纹评级图（×200）（续二）

表 C1 裂纹级别与特征（甲系列） （单位：mm）

级别	0.35mm×0.50mm 面积内裂纹总长度	级别	0.35mm×0.50mm 面积内裂纹总长度
0	0	4	>0.40 构成半网络
1	>0～0.10	5	>0.40 构成网络
2	>0.10～0.20	6	>0.40 构成多个网络
3	>0.20～0.40		

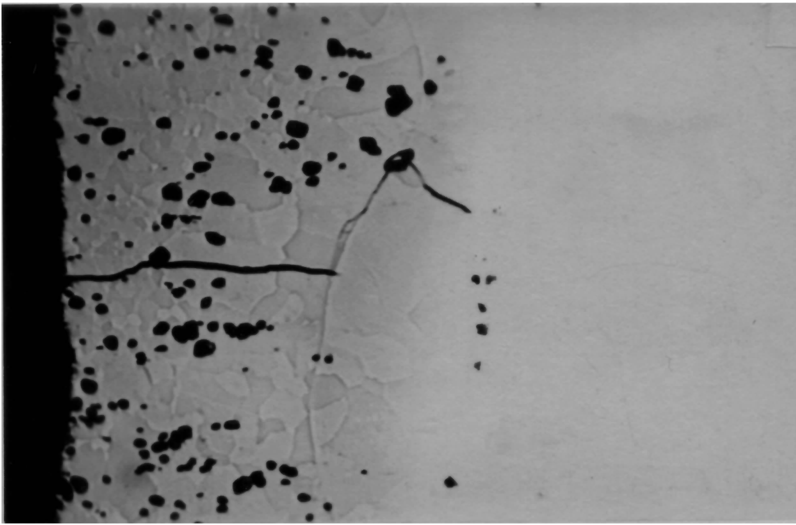
C3.3 中、高合金钢扩散型热浸镀铝层的裂纹级别（乙系列）按表 C2 和评级图 C2 分为 7 级。

表 C2 裂纹级别与特征（乙系列） （单位：mm）

级别	0.35mm×0.50mm 面积内裂纹总长度	级别	0.35mm×0.50mm 面积内裂纹总长度
1	≤0.20	5	>0.50 最大裂口宽度≤0.02
2	>0.20～0.30	6	>0.50 最大裂口宽度>0.02～0.04
3	>0.30～0.40	7	>0.50 最大裂口宽度>0.04
4	>0.40～0.50		

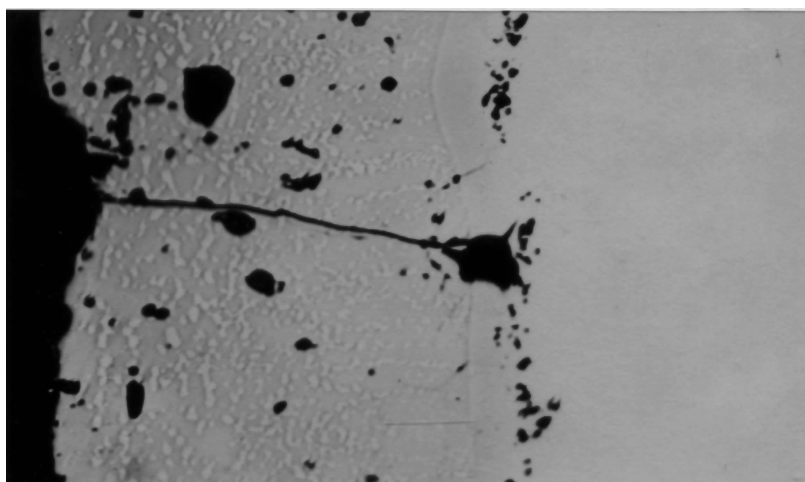


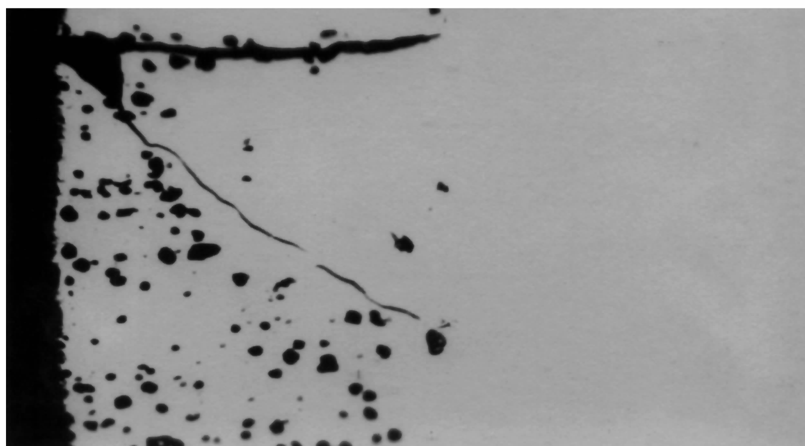
1级



2级

图 C2 乙系列裂纹评级图（×200）


3级


4级

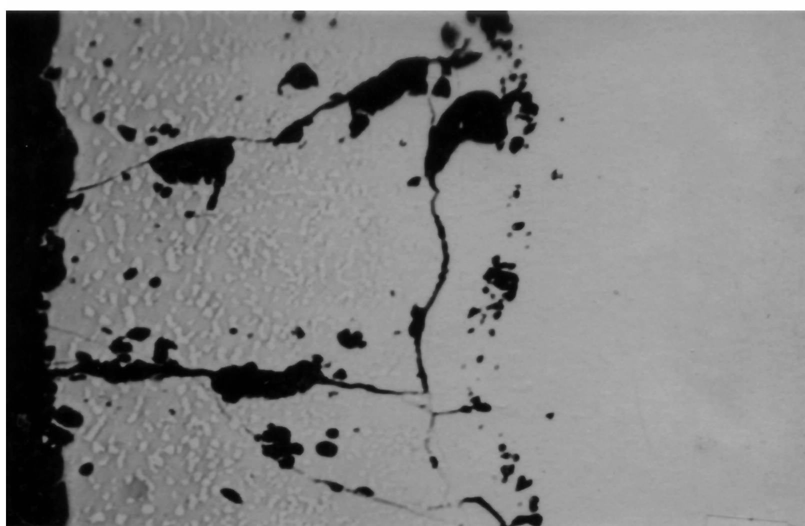

5级

图 C2　乙系列裂纹评级图（ ×200）（续一）

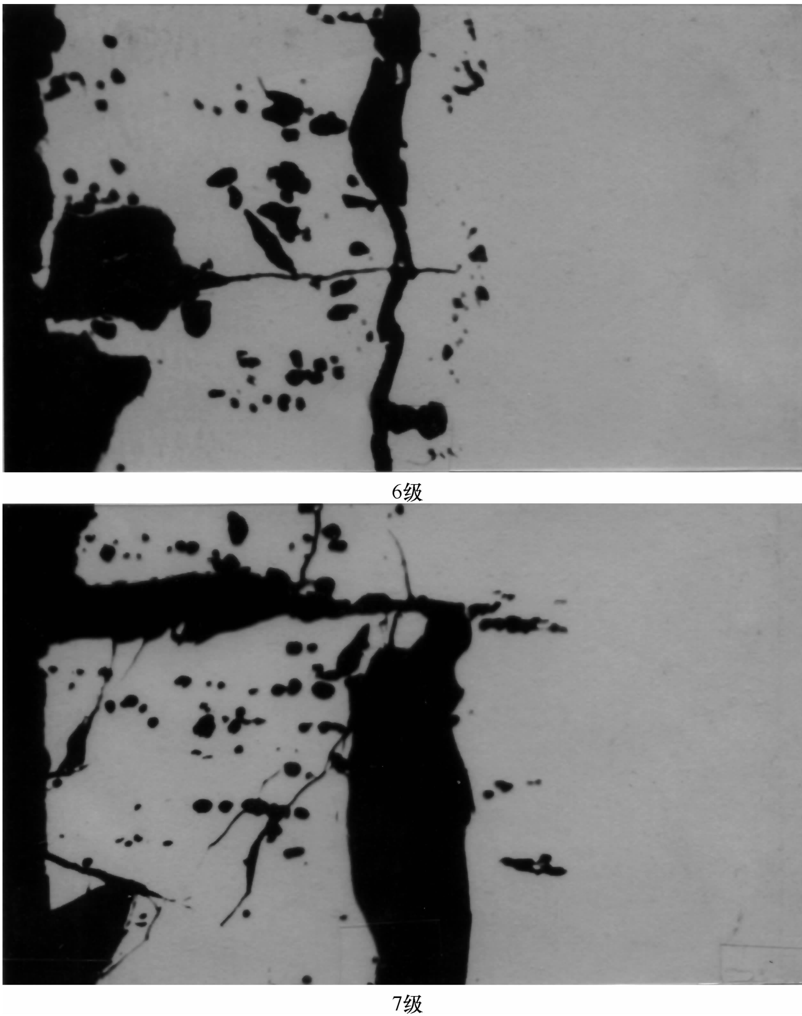


图 C2　乙系列裂纹评级图（×200）（续二）

C3.4　评定结果以试样最大裂纹级别表示。

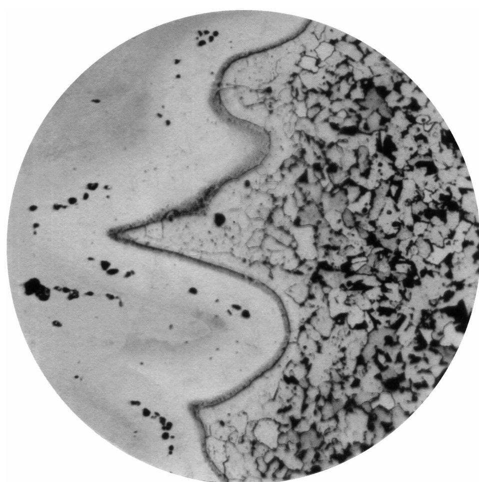
C3.5　放大倍率一般为 200 倍。

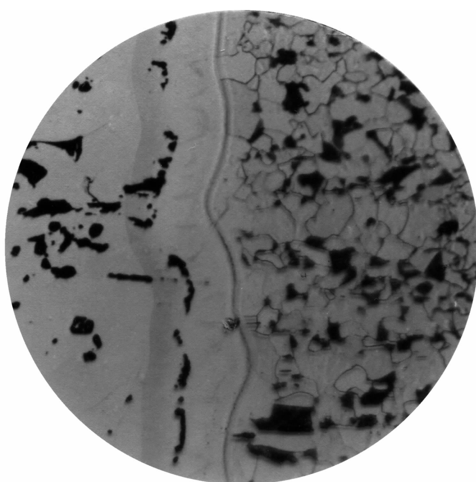
附　录　D
（提示的附录）
扩散型热浸镀铝层与基体金属界面类型评定

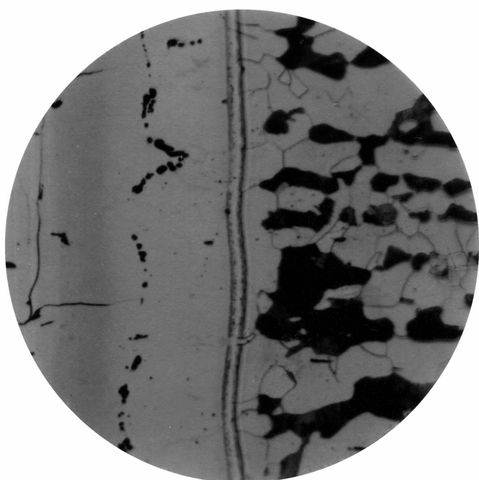
扩散型热浸镀铝层与基体金属界面类型与特征见表 D1。界面类型参考图见图 D1。

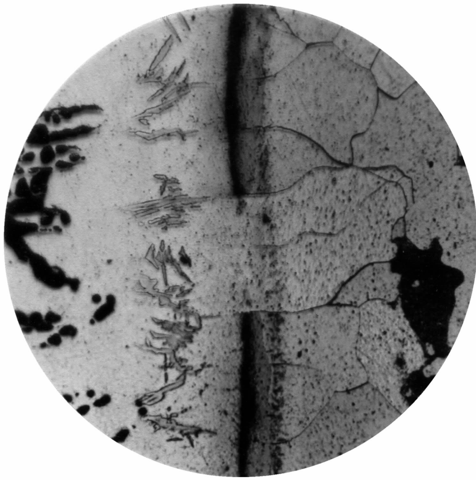
表 D1　界面类型与特征

类型	扩散层界面线特征	类型	扩散层界面线特征
A	界面线为曲线，曲度较大	D	界面线近于直线或近于直线并有柱状晶嵌入
B	界面线为曲线，曲度较小	E	界面线为直线
C	界面线为双线，曲度较小		


A型


B型


C型


D型


E型

图 D1　界面类型参考图（×200）

第二十五节 钢铁构件固体渗铝工艺及质量检验

一、概论

在《加工高硫原油重点装置主要设备设计选材导则》中，对一些装置的高温部位推荐选用渗铝钢。目前我国渗铝钢的生产工艺主要有包埋渗铝、膏剂渗铝和热浸渗铝方法。由于渗铝工艺不同，其渗铝产品表面的铝浓度、显微硬度、渗层厚度、渗层的孔隙及裂纹的技术指标都不尽相同。而包埋渗铝、膏剂渗铝钢的质量检验我国还没有标准。有些渗铝生产企业因没有现行的标准为依据，对质量检验控制不严格，使渗铝钢在炼油厂没有达到理想的使用效果。中国石化洛阳石油化工工程公司设备所多年来一直致力于渗铝钢耐腐蚀试验研究及工业应用研究，成功地开发了改性包埋渗铝工艺和膏剂感应渗铝工艺，并获得国家专利多项。包埋（膏剂）渗铝钢在炼油行业进行了大面积推广应用，并获得了良好的耐蚀效果。渗铝钢的质量检验长期按自行制定的标准进行。为了质量检验的标准规范化，洛阳石化工程公司制定了企业标准，即 Q/LYSH301—1998《钢铁构件渗铝质量检验及验收技术条件》，通过 10 多年的实施证明，用该标准检验的包埋渗铝、膏剂渗铝构件可以满足石油化工企业加工含高硫、高酸原油装置设备防腐的要求。在此基础上，制定了 JB/T 10448—2005《钢铁构件固体渗铝工艺及质量检验》。该标准的制定与实施，对保证石化行业和机械工业生产安全、长周期运行，并获得显著的经济效益和社会效益有着重要意义。

二、标准应用说明

下面对标准中的渗铝构件质量要求与检验进行介绍。

（1）可疑漏渗点。采用可疑漏渗点的检查方法，经多年的实践表明，该方法简便，效果明显。

（2）渗铝层显微特性

1）渗铝层厚度应不小于 0.08mm。渗铝层的显微硬度应不大于 750HV0.05。渗铝层表面铝的质量浓度应不低于 20%。这些指标是大量的实验和 10 余家炼油厂挂片和应用结果所证实的，而实际产品的渗层厚度均在 0.1mm 以上，铝质量浓度在 30% 左右。

2）固体渗铝层存在的空隙极少，且空隙尺寸较热浸渗铝层要小得多。固体渗铝钢的微观缺陷存在不影响其整体渗铝钢的耐蚀性能。孔径为 0～0.03mm（椭圆形孔径以其长短轴的算术平均值确定）均认为合格。

3）渗铝层裂纹存在的概率要比空隙高，满足标准中表 B1 的 0～4 级（0～0.26mm）时为合格。

特别说明的是在抽检的 100 件分析试样（均为在产品上截取）中，存在空隙和裂纹的试样只占 10% 左右。

（3）外力引起的渗层裂纹

1）弯曲裂纹。渗铝构件弯曲变形（弯曲角度超过 20°）时，变形量最大的弧形顶部会首先产生剪切变形所致的裂纹，裂纹面平行于弧顶面，当曲率继续增大时，就会出现拉伸裂纹。

2）压扁裂纹。渗铝管受压呈扁圆状时，首先在短轴内侧渗层产生拉伸裂纹。当短轴直径与圆直径之比小于 95% 时，就会产生裂纹。

3）胀管裂纹。胀管时，在外力作用下管径均匀扩大，在较大的变形量下，即变形量达到 10% 以上才会产生裂纹。

弯曲裂纹、压扁裂纹、胀管裂纹等裂纹一般均穿透渗层，破坏了渗层的连续性及完整性，降低渗铝钢的耐蚀性能，因此渗铝层不允许存在该类裂纹。

（4）外力引起脆性层剥落。当渗层外表面铝含量很高且渗层较厚，由于扭弯等形变或外力撞击引起渗铝层的外层富铝部分脱落时，其局部剥落厚度应小于渗层总厚度的1/4，且留余的渗层厚度应符合本标准。

（5）渗铝钢管涡流检测方法。在实验室条件，对不同直径（外径不小于10mm）的渗铝管内外壁制备了不同尺寸的人工缺陷，缺陷数量为两个，分别位于试样的两端，彼此之间的轴向距离不小于50mm。渗铝管涡流检测方法就是对这些缺陷用涡流检测的方法进行实验分析。（洛阳石油化工工程公司盛长松供稿）

三、标准内容（JB/T 10448—2005）

钢铁构件固体渗铝工艺及质量检验

1　范围

本标准规定了钢铁构件粉末包埋渗铝和膏剂感应渗铝的原材料、工艺流程、工艺方法、质量要求、检验方法。

本标准适用于碳素钢、合金钢构件及铸铁构件的表面渗铝及其质量检验。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T　9790—1988　金属覆盖层及其他有关覆盖层　维氏和努氏显微硬度试验

JB/T　5069—1991　钢铁零件渗金属层　金相检验方法

JB/T　9206—1999　钢铁热浸铝工艺及质量检验

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1　粉末包埋渗铝　powder aluminizing

在密闭的容器内，用粉状渗铝剂将待渗的构件包埋，缓慢加热至高温并保持一定时间，使构件表层形成渗铝层。

3.2　膏剂感应渗铝　induction paste aluminizing

在构件表面涂膏状渗铝剂和保护涂层，烘干后感应加热到一定温度下进行扩散渗铝。

3.3　渗铝层厚度　thickness of aluminized layer

渗铝构件表面至渗铝层与基体间界面线的垂直距离。

3.4　漏渗 miss aluminizing

渗铝构件表面可目测出的渗铝层局部不连续现象。

4　原材料

4.1　渗铝构件基体材料

渗铝构件的基体材料质量应符合相应的国家标准或行业标准的规定。

4.2　铝粉

铝粉的纯度应高于98%；包埋渗铝用铝粉的粒度应不大于180μm，膏剂感应渗铝用铝粉的粒度应不大于130μm。

5 固体渗铝工艺流程

5.1 构件粉末包埋渗铝工艺流程如图1所示。

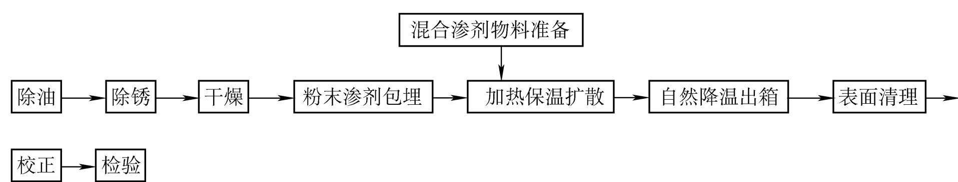


图1 构件粉末包埋渗铝工艺流程

5.2 构件膏剂感应渗铝工艺流程如图2所示。

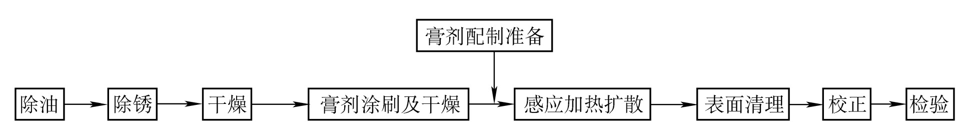


图2 构件膏剂感应渗铝工艺流程

6 固体渗铝工艺方法

6.1 除油

构件表面的油污，可采用低温加热、碱液清洗或有机溶剂清洗。

6.2 除锈

可采用机械方法或化学方法清除构件表面的锈蚀产物。

6.3 粉末包埋渗铝

6.3.1 渗铝剂的组成(质量分数)应为：铝粉20%～40%；稀释剂58%～79%；催渗剂1%～2%。

6.3.2 渗铝剂各组分应采用人工或机械方法充分混合。

6.3.3 构件的装箱方法为：构件装入之前，先在箱底铺上一层厚200mm的渗铝剂，然后将构件放在上面，构件之间的距离应大于1mm，构件与箱壁之间的距离应大于1mm，构件之间、构件与箱体之间均应填满渗剂并适当振实。靠近箱体开口的构件上部尚应加盖一层足够厚的渗剂，厚度根据箱体尺寸确定。最后加盖密封。

6.3.4 渗铝温度应符合表1规定。碳素钢构件宜取下限，合金钢、铸铁构件宜取上限。加热设备的有效加热区温度偏差为±20℃。

表1 渗铝保温温度 （单位：℃）

基体材料	低温段	中温段	高温段
碳素钢	450～480	700～750	1000～1050
合金钢、铸铁			1050～1100

6.3.5 碳素钢构件包埋渗铝推荐时间见表2，合金钢和铸铁件渗铝时间应比表2规定时间多20%左右，并可根据箱体开口横截面尺寸适当调整保温时间。

6.3.6 渗铝结束后，渗箱随炉冷却至500℃出炉，构件在炉外空冷至100℃方可出箱。

6.3.7 构件出箱后，应用毛刷除尽构件表面的残留渗剂粉末，用清水冲洗，并及时烘干。

表 2　碳素钢构件渗铝保温时间　（单位：h）

低温段	中温段	高温段
0.5	1	>4.5

6.4　膏剂感应渗铝

6.4.1　膏剂由渗铝剂和粘结剂组成。渗铝剂组成（质量分数）应为：铝粉 30% ~60%；稀释剂 38% ~69%；催渗剂 1% ~2%。

6.4.2　应均匀地将膏剂涂刷在构件上，涂层厚度为 0.4 ~1mm。

6.4.3　烘干温度应控制在 100 ~120℃；干燥时间应大于 2h。

6.4.4　膏剂感应渗铝温度应控制在 950 ~1050℃，对碳素钢构件取下限，合金钢和铸铁构件取上限。

6.4.5　中频感应加热的升温速率应控制在 30 ~50℃/s。

6.4.6　膏剂感应渗铝时间为 1 ~5h。

6.4.7　构件渗铝后，应用毛刷除尽构件表面的残留渗剂粉末，用清水冲洗，并及时烘干。

6.5　校正

可采用手工或机械的方法校正加热引起的畸变，使构件尺寸满足技术要求。

7　渗铝构件质量要求

7.1　渗铝层外观

7.1.1　用目测法检查，渗铝层表面应全部呈均匀银灰色或灰黑色。

7.1.2　渗铝层应致密并全部覆盖构件表面，不应有漏渗、渗铝层破损等缺陷。对可疑的漏渗点，在常温下用浓度为 25% 的硝酸溶液涂敷，保持 1 ~2min 后进行检查，气泡发生点则判定为漏渗点。渗铝钢管内表面的渗铝层应按附录 C 检测漏渗缺陷。

7.1.3　构件渗铝层有局部漏渗、破损时，可采用回炉处理或热喷涂方法进行修补，修补后应达到渗铝层连续性要求。采用的修补方法可根据修补成本和可操作性确定。单个构件的待修补点应不超过 10 个，每个点的漏渗面积应小于 $2cm^2$。如单个构件的待修补点数量和漏渗面积超出规定的数值，则应采用回炉处理法进行修补。

7.2　渗铝层厚度

7.2.1　渗铝层厚度应不小于 0.08mm。

7.2.2　渗铝层厚度检测采用显微测量法，按照 JB/T 5069 的规定进行。

7.2.3　当渗铝构件回炉处理后，部分构件可能出现局部渗铝层较厚或表面铝含量较高，由扭弯等畸变或外力撞击引起渗铝层的外层富铝部分脱落时，其局部剥落厚度应小于渗铝层总厚度的 1/4，且剩余的渗铝层厚度应符合 7.2.1 的规定，否则判为废品。

7.3　显微硬度

7.3.1　渗铝层的显微硬度应不大于 750HV50。

7.3.2　渗铝层的显微硬度检验按照 GB/T 9790 的规定进行。

7.4　表面铝含量

渗铝层表面铝的质量含量应在 20% ~40% 范围内，是否需要检验应由供需双方协商确定。

7.5　孔隙

7.5.1　渗铝层孔隙级别分类见附录 A。

7.5.2　渗铝层允许局部存在孔隙，固体渗铝层的微观缺陷应不影响其整体渗铝件的耐蚀性能。满

足附录 A 中所列的孔隙要求时，应为合格。

7.6 裂纹

7.6.1 渗铝层裂纹级别评定方法见附录 B。

7.6.2 渗铝层裂纹满足表 B.1 的 0 ~4 级时为合格。

7.6.3 裂纹深度不得大于渗铝层厚度的 3/4。

7.6.4 渗铝层不应存在因校正引起的弯曲、压扁裂纹。

7.7 外形尺寸

构件渗铝后的畸变量，不得超过设计图样规定的范围。经需方同意后，对于不影响安装和工艺性能的尺寸偏差可适当放宽。

7.8 构件的力学性能

对构件的力学性能有要求时，可由供需双方协商解决。

8 检验

8.1 渗铝层外观、产品外形尺寸

8.1.1 渗铝钢管内表面的渗铝层每批应抽检 10%，其他渗铝构件的渗铝层外观应 100% 检验。

8.1.2 小构件的外形尺寸每批抽检 1‰，且小于 100 件产品的抽样数量不小于五件。大构件外形尺寸 100% 检验。

8.2 渗铝层厚度、显微硬度、表面铝含量、孔隙、裂纹

8.2.1 渗铝层厚度、显微硬度、表面铝含量、孔隙、裂纹检验时，每批应抽检三件。

8.2.2 试样应在不影响使用性能的部位采取，如在构件上不能采取，可使用同种材料同一工艺的专用试样，但必须在订货合同中予以注明。

注：按订货合同，由相同品种、相同工艺且连续生产的产品组成一批。

附 录 A

（规范性附录）

渗铝层孔隙级别显微镜评定法

A.1 仪器

金相显微镜或扫描电子显微镜。

A.2 试样制备

应按 JB/T 9206—1999 中 A.2 的规定制备试样，其横断面应垂直于渗铝层。

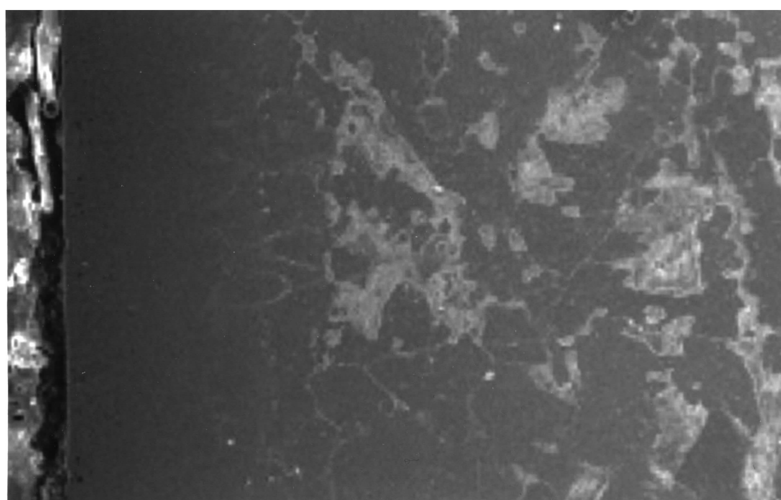
A.3 孔隙级别评定

孔隙级别共分为四类 5 级，可按表 A.1 和评级图 A.1 进行评定。

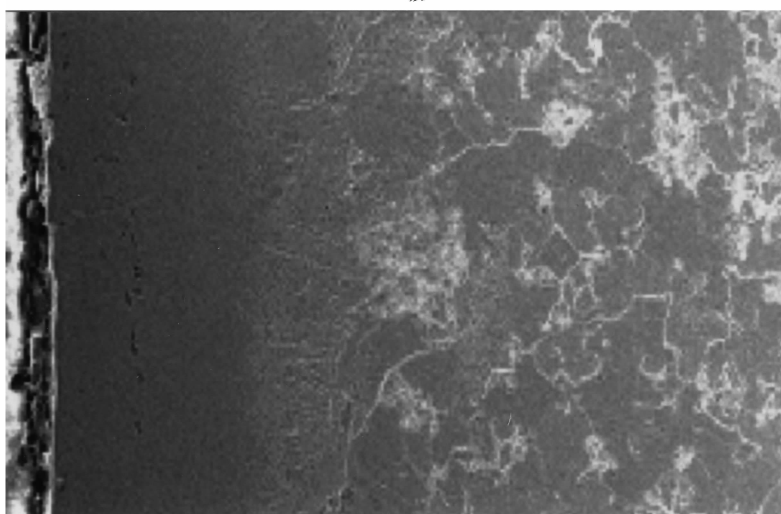
表 A.1 孔隙级别与特征

级别	类别	最大孔径/mm	说　明
1	一	0	无孔隙
2	二	>0 ~0.01	带状连续孔隙
3	三	>0.01 ~0.015	单个孔隙
4	四	>0.015 ~0.02	不连续孔隙
5		>0.02 ~0.03	

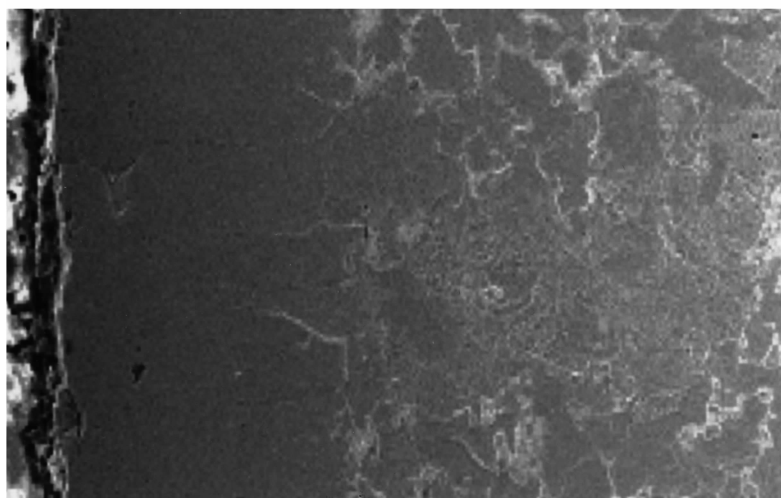
注：椭圆形孔径以其长短轴的算术平均值确定。



1级



2级



3级

图 A.1　孔隙评级图（×200）

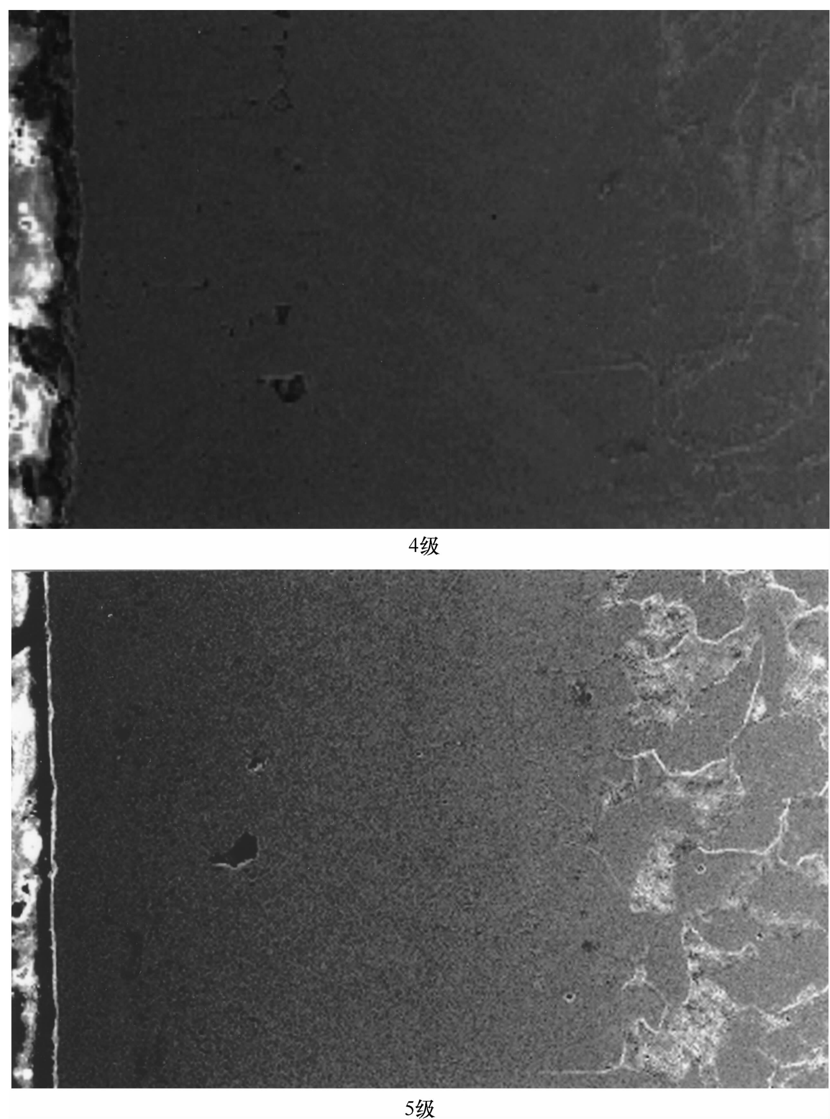


图 A.1 孔隙评级图（×200）（续）

附 录 B
（规范性附录）
渗铝层裂纹级别显微镜评定法

B.1 仪器

金相显微镜或扫描电子显微镜。

B.2 试样制备

应按 JB/T 9206—1999 中 A.2 的规定制备试样，其横断面应垂直于渗铝层。

B.3 裂纹级别评定

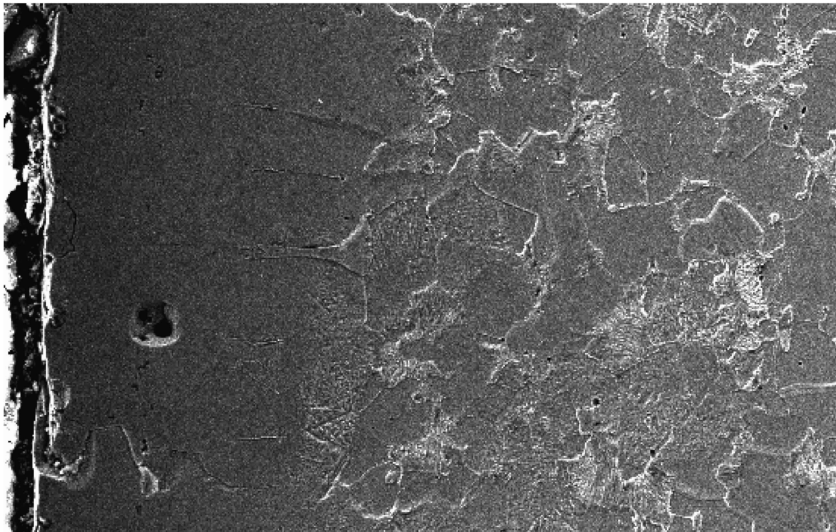
B.3.1 裂纹级别评定应在试样抛光面进行。

B.3.2 裂纹级别共分为 7 级，可按表 B.1 和评级图 B.1 进行评定。

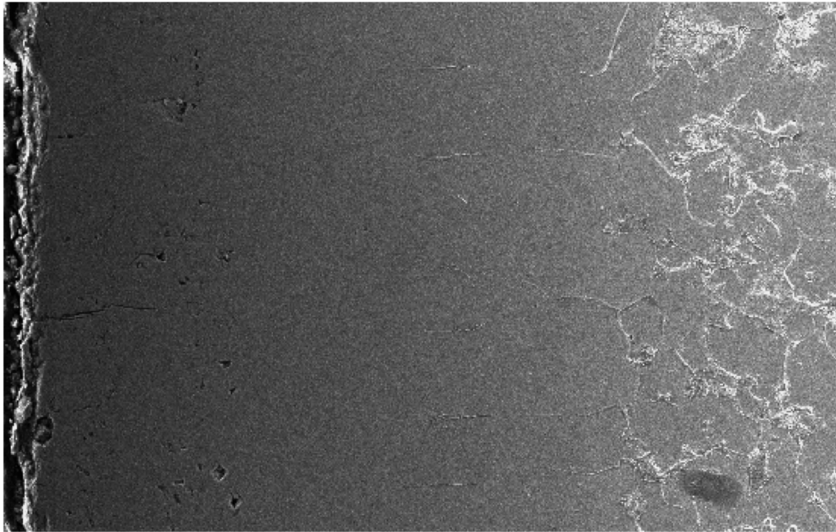
B.3.3 评定结果应以试样最大裂纹级别表示。

表 B.1　裂纹级别与特征

级别	0.35mm×0.5mm 面积内裂纹总长度/mm	级别	0.35mm×0.5mm 面积内裂纹总长度/mm
0	0	4	>0.18~0.26
1	>0~0.06	5	>0.26~0.36
2	>0.06~0.12	6	>0.36
3	>0.12~0.18		

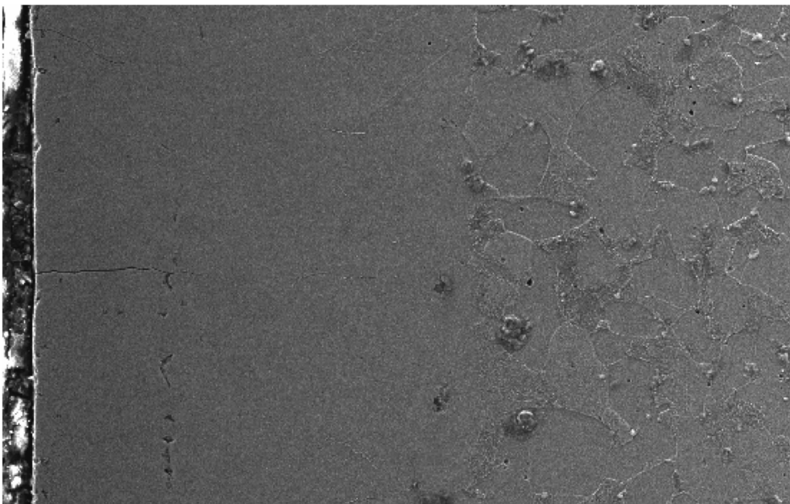


0级

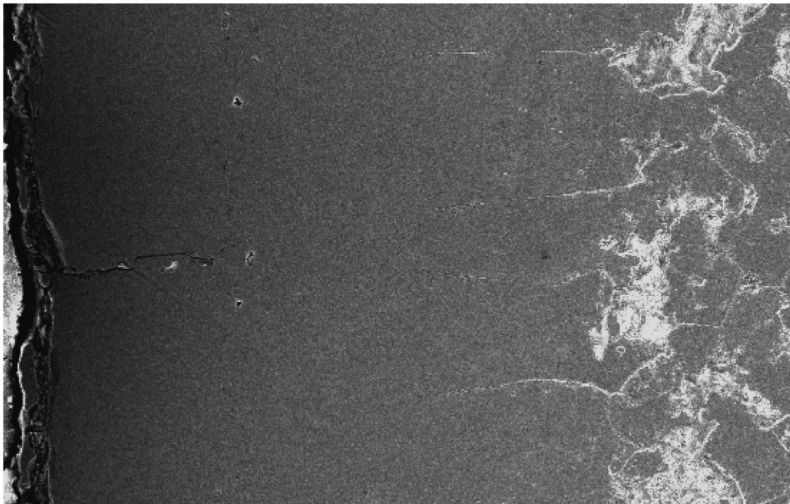


1级

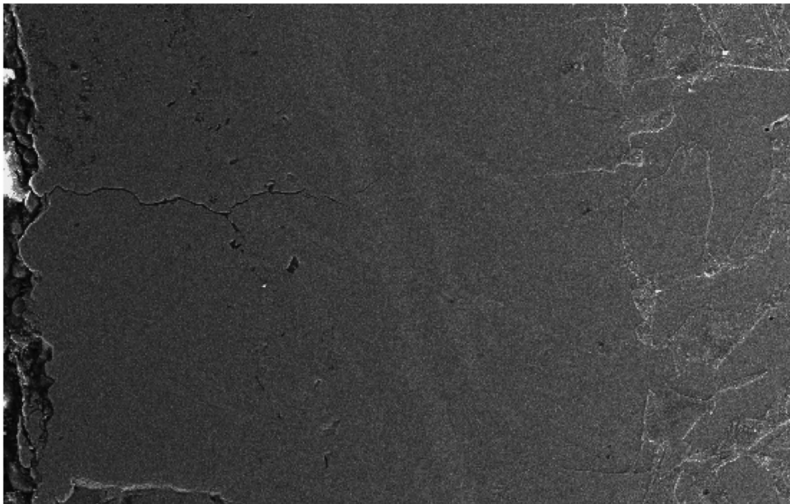
图 B.1　裂纹评级图（×200）



2级



3级



4级

图 B.1 裂纹评级图（×200）（续一）

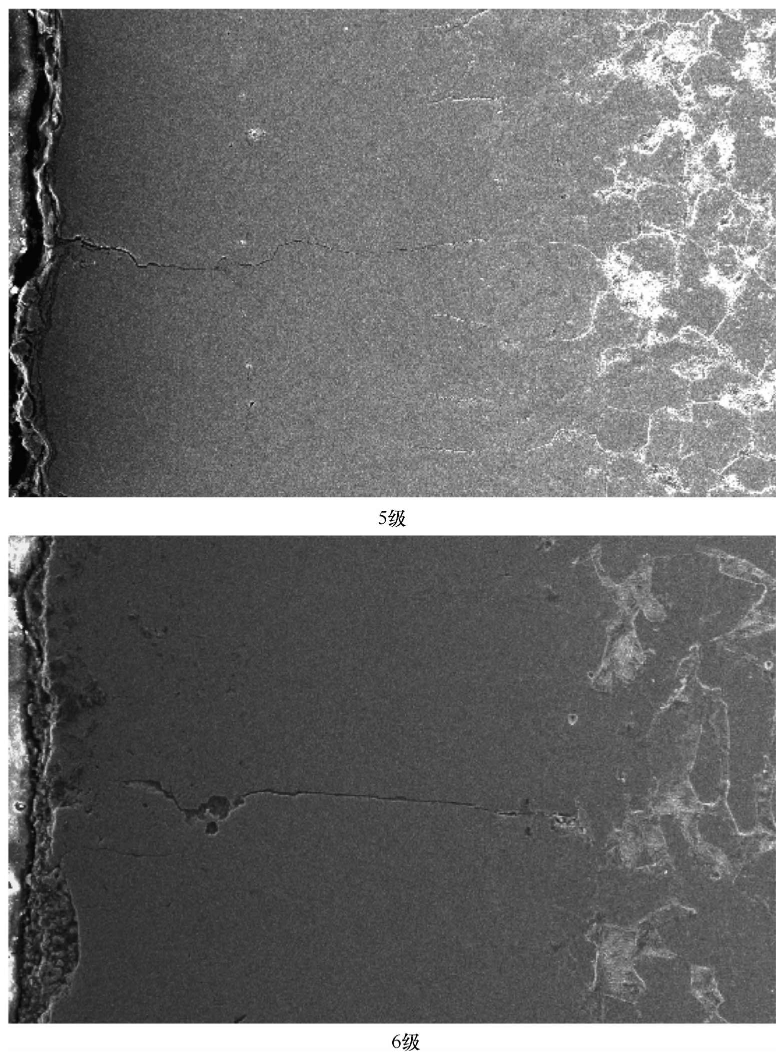


图 B.1　裂纹评级图（×200）（续二）

附　录　C

（规范性附录）

渗铝钢管涡流检测方法

C.1　范围

本附录适用于外径不小于 10mm（采用穿过式线圈时最大外径为 180mm）的圆形无缝渗铝钢管（以下简称“钢管”）内外表面渗铝层的漏渗缺陷检测。

C.2　一般要求

C.2.1　检测人员

C.2.1.1　所有检测人员应由有关部门认可并取得涡流检测技术资格等级证书。

C.2.1.2　取得不同涡流检测技术资格等级的检测人员只能从事与该技术资格等级相应的检测工作，并负相应的技术责任。

C.2.2　检测设备

C.2.2.1　检测设备主要有涡流检测仪、检测线圈。

C. 2. 2. 2　检测线圈应能在被检管材中感应出涡流，并能检测出管材电磁特性的变化。

C. 2. 2. 3　涡流检测仪应能以所需频率的交流电击检测线圈，并能放大、处理、显示检测线圈检测到的管材电磁特性变化的信号。

C. 2. 3　验收标记

检测合格的管材上都应作永久性或半永久性的标记，标记应醒目。管材上不适合打印标记时，应采取其他有效方法标注，使下道工序或最后的检测人员能够辨明。

C. 3　对比试样

C. 3. 1　为调整和检验涡流检测仪，灵敏度、重复性和分辨能力在规定的范围内，涡流检测应制作对比试样。

C. 3. 2　对比试样应符合下列要求：

a）对比试样的钢管应与被检测钢管的规格相同，化学成分、表面状况及热处理状态电磁特性相似。钢管的平直度应不大于 1. 5/1000，且无影响校准的缺陷；

b）对比试样的长度应满足涡流检测仪与检测线圈的要求；

c）对比试样的人工缺陷应：

1）形状为位于钢管内外表面的人工漏渗缺陷；

2）数量为两个，分别位于对比试样的两端，彼此之间的轴向距离不小于 50mm，距试样两端距离不小于 50mm；

3）不大于 80% 人工缺陷指示的任何噪声。

C. 4　检测条件及步骤

C. 4. 1　检测条件

C. 4. 1. 1　涡流检测应在钢管渗铝的所有生产工序完成之后进行。

C. 4. 1. 2　被检钢管表面应光滑整洁、端部无毛刺，弯曲度和圆度应符合有关标准要求。

C. 4. 2　检测步骤

C. 4. 2. 1　检测仪参数评定

根据被检测对象，设定相应的检测参数，包括检测频率设定，显示方法选择等。

C. 4. 2. 2　检测状态标定

检测仪参数设定后，用对比试样调整仪器录敏度，使人工缺陷指示水平达到明显可辨别的幅度，并具有良好的信噪比，以此标定检测仪并处于待检状态，方可投入使用。根据调试好的仪器参数和检测速度进行检测。

C. 4. 2. 3　录敏度的检查

在连续使用中，应每隔 2h 和每批检验完毕时用对比试样校验设备。只要对设备功能发生怀疑，均应加以校验。如果发现灵敏度降低，则应重新校准仪器，并对上次校准后检测的钢管全部复检。

C. 5　结果评定

C. 5. 1　合格钢管

钢管缺陷显示的信号小于对比试样人工缺陷的信号时，应判定为该钢管经涡流检测合格。

C. 5. 2　可疑钢管

钢管缺陷显示的信号不小于对比试样人工缺陷的信号时，应判为该钢管经涡流检测不合格。

C. 5. 3　可疑钢管的处理

C. 5. 3. 1　对可疑钢管可进行重新检测。如重新检测后符合 C. 5. 1 规定，则应认为该支钢管涡流检测合格。

C. 5. 3. 2　对可疑钢管，也可按供需双方协商的其他检测方法进行复检。

C. 5. 3. 3　重新检测或复探后仍为可疑的钢管，判定为不合格。

C. 6　检测报告

报告应包括以下内容：

a）委托单位、被检钢管牌号、规格、数量；

b）检测仪器名称、型号、检测线圈形式、检测频率；

c）检测标准名称、人工缺陷形状；

d）检测结果及缺陷评定；

e）检测人员、责任人员签字及其技术资格；

f）检测日期。

第二十六节　非调质钢件表面热处理

一、概论

1. 非调质钢的应用

按 GB/T 15712《非调质机械结构钢》的定义，非调质钢是指通过微合金化、控制轧制（锻造）和控制冷却等强韧化方法，取消了调质热处理，达到或接近调质钢力学性能的一类优质或特殊质量的结构钢。

非调质钢目前的种类和钢牌号正不断增加。按用途可分为热轧、热锻非调质钢，易切削非调质钢和冷作硬化非调质钢；按强度、韧性可分为基本型、高韧性型、高强度型和高强度高韧性型非调质钢。最常用的按获得的组织分类：铁素体-珠光体型、贝氏体型、马氏体型、铁素体-贝氏体型和铁素体-马氏体型复相组织非调质钢。目前应用最广泛的主要是铁素体-珠光体型和贝氏体型非调质钢。

与调质钢相比，非调质钢的主要特点在于：节能，省略调质处理而引发的环境污染，生产周期短，硬度分布均匀，抗拉强度和疲劳强度与同级别的调质钢相当，没有调质处理过程中可能产生的畸变及开裂报废等。其节能、减排和降本效果明显。随着控轧、控冷等技术快速进步及广泛应用，非调质钢的产量大幅增长，在工业发达国家非调质钢产量占总钢产量的30%以上。

用非调质钢制造机械零件，同样需要进行各种后续的表面热处理。由于非调质钢表面热处理前的组织准备状态有异于调质钢，从而可能影响表面热处理质量，有必要对非调质钢在表面热处理中的有关问题进行研究，并加以规范。

例如，对中碳铁素体-珠光体型非调质钢进行渗氮处理，经560℃长期保温，其显微组织改变不明显，抗拉强度和屈服强度变化不大。但对于贝氏体非调质钢经560℃左右长期保温，将影响其力学性能（见表2. 26-1），冲击吸收能量 KU_2 从46. 7J 下降至35. 0J。

表 2. 26-1　贝氏体非调质钢气体氮碳共渗处理前后基体力学性能

试样状态	R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A(%)	Z(%)	硬度(平均值)HBW	KU_2(平均值)/J
原材料	530	785	16. 0	48. 0	254	46. 7
气体氮碳共渗	610	745	20. 5	62. 5	239	35. 0

非调质钢的研发和应用，符合“清洁高效制造工艺”要求。以发动机曲轴为例：

用调质钢制造曲轴工艺路线：热模锻→正火→调质（淬火＋高温回火）→机加工→感应淬火

（或渗氮处理）。

用非调质钢制造曲轴工艺路线：热模锻（控锻）→控冷（有时需要补充正火，以提高强韧性能）→机加工→感应淬火（或渗氮处理）。

2. 国内外标准对比评述

1）JB/T 9201—2007《钢铁件的感应淬火回火》中提及“感应淬火后的组织中若出现块状或网状的未溶铁素体，将严重影响其性能”，被认为是一种缺陷，应避免出现。而铁素体-珠光体型非调质钢主要是通过细晶强化和沉淀强化机制使基体得以强化，基体组织存在大量铁素体+珠光体，强化机制有明显差异。因此，对非调质钢表面进行感应淬火处理，更重要的是对其晶粒度的控制。

2）GB/T 18177—2008《钢件的气体渗氮》中，对原始组织有控制铁素体量的要求（如38CrMoAl钢调质后表面5mm内游离铁素体量不应超过5%），这对铁素体-珠光体型非调质钢不适用，非调质钢只能考虑原始组织形态对渗层组织与性能的影响，如控制晶粒大小，防止渗氮层表面产生脉状组织，导致脆性增加。

3）非调质钢件表面热处理工艺及效果套用现行调质钢的表面热处理的相关标准不太合适，也较难准确执行，这将不利于非调质钢的推广应用。经检索查询，国内外目前均未见公开的非调质钢件表面热处理工艺技术标准。

综上所述，随着非调质钢件在机械等行业中应用的日趋广泛，有必要专门制定一个适用于非调质钢表面热处理工艺的标准，为汽车、装备制造等机械行业等的企业在进行非调质钢件表面热处理时提供指导和对照，有助于更好地推进非调质钢在机械行业内的应用，并实现节能减排的目的。因此，制定了JB/T 11805—2014《非调质钢件表面热处理》。在制定该标准过程中，结合目前我国非调质钢的应用情况，并进行了必要的验证工艺试验。

二、标准应用说明

1. 适用范围

本标准规定了非调质钢件的表面热处理质量控制、安全卫生及劳动保护的基本要求。

本标准适用于非调质钢件的表面感应淬火、气体渗氮、气体氮碳共渗以及离子渗氮工艺。

2. 非调质钢的表面热处理工艺选择

非调质钢一般不进行渗碳淬火、碳氮共渗、渗金属、渗硼等热处理，这是由于渗碳、渗金属、渗硼处理温度一般在930℃，碳氮共渗温度一般在850℃，非调质钢在此温度下热处理将失去其特性。尽管渗碳淬火、碳氮共渗、渗金属、渗硼等热处理可以提高非调质钢件的表面性能，但同时也降低非调质钢件原有的性能特征，且需要进行后续热处理，失去应用非调质钢的必要性，同时也不适用于铁素体-珠光体型非调质钢和贝氏体型非调质钢。

气体渗氮、离子渗氮、气体氮碳共渗热处理，一般在低于600℃的温度下进行。因此，非调质钢件的热稳定性决定了该钢经气体渗氮、离子渗氮、气体氮碳共渗热处理后，其心部是否仍保持良好的性能。为此，进行了热稳定性试验验证。以铁素体-珠光体型非调质钢F45MnV为例。F45MnV钢在低于600℃的温度下，长时间加热、保温后，其力学性能与热轧态基本相同，心部的组织和性能变化不大。试验验证表明，铁素体-珠光体型非调质钢可以采用气体渗氮、离子渗氮、气体氮碳共渗热处理的方法，以提高其表面性能（抗摩擦、耐磨性和疲劳强度）。因此，本标准中明确了非调质钢件的气体渗氮、离子渗氮、气体氮碳共渗的工艺温度一般<600℃。根据试验验证，贝氏体型非调质钢件经气体渗氮、离子渗氮、气体氮碳共渗处理后的韧性略有下降，所以本标准中明确了对贝氏体型非调质钢件的气体渗氮、离子渗氮、气体氮碳共渗，应考虑基体韧性下降的影响。

因此，铁素体-珠光体型非调质钢件和贝氏体型非调质钢件可进行的表面热处理工艺：感应淬火回火、气体渗氮、气体氮碳共渗和离子渗氮。

3. 一般的非调质机械结构钢

非调质钢按获得的组织分类，目前最常用的为铁素体-珠光体型非调质钢，其次为贝氏体型非调质钢和马氏体型非调质钢。由于马氏体型非调质钢应用不多，同时马氏体型非调质钢的基体强度达 900MPa 以上，甚至可达 1400MPa，硬度达 38～43HRC，一般不再进行表面热处理。

因此，本标准规定了 GB/T 15712—2008 中及其他相应牌号的铁素体-珠光体型和贝氏体型非调质钢件均可进行本标准所规定的表面热处理工艺。

4. 预处理要求

非调质钢件表面热处理前一般为锻造或轧制状态，但不允许有晶粒粗大现象。经标准审核会议专家讨论确定：晶粒度一般应控制在 5 级以上，否则应进行正火处理细化晶粒。

5. 感应淬火回火

（1）相关工艺试验。在相同的感应淬火条件下，非调质钢与调质钢（如 40Cr、45 钢等）相比，表面硬度及有效硬化层深度基本相同。

（2）感应淬火回火工艺方法。根据试验验证，本标准规定了非调质钢感应淬火回火工艺方法，可参照 JB/T 9201—2007《钢铁件的感应淬火回火处理》执行。可根据工件形状、材料牌号、设备条件和试验结果，确定加热工艺参数和冷却工艺参数。工件应在淬火后及时回火，回火温度的选择应使工件获得规定的技术要求，也可采用自回火的方法。非调质钢感应淬火工艺适用于含碳量≥0.30%（质量分数）的非调质钢件。

（3）品质要求与检验。根据试验验证，本标准规定了非调质钢感应淬火的表面硬度及有效硬层深度偏差范围基本等效采用 JB/T 9201—2007《钢铁件的感应淬火回火处理》的相关技术指标。

对于检验方式，本标准规定了可采用与工件相同材料、相同状态试样进行检验。若要在工件上检验，具体要求应由委托方与受托方协商确定。

6. 气体渗氮

（1）相关工艺试验。在同样气体渗氮工艺的条件下，非调质钢件的渗层深度比调质钢（如 40Cr、45 钢）较深，表面硬度比调质钢（如 40Cr、45 钢）略高。

（2）气体渗氮工艺方法。根据试验验证，本标准规定了非调质钢气体渗氮工艺方法可参照 GB/T 18177—2008《钢件的气体渗氮》执行。在渗层深度相同的条件下，非调质钢件的气体渗氮时间可适当缩短。

（3）品质要求与检验。根据试验验证，本标准规定了非调质钢件的气体渗氮表面硬度允许偏差值、渗氮层深度允许偏差范围基本等效采用 GB/T 18177—2008《钢件的气体渗氮》的相关技术指标。

对于检验方式，本标准规定了可采用与工件相同材料、相同状态试样进行检验。若要在工件上检验，具体要求应由委托方与受托方协商确定。

7. 气体氮碳共渗

（1）相关工艺试验。在同样气体氮碳共渗工艺试验的条件下，非调质钢件的硬化层深度与调质钢（如 40Cr、45 钢）相差不大，表面硬度比调质钢（如 40Cr、45 钢）略高，但离散性略大。

（2）气体氮碳共渗工艺方法。根据试验验证，本标准规定了非调质钢气体氮碳共渗工艺方法可参照 GB/T 22560—2008《钢件的气体氮碳共渗》执行。常用的气体氮碳共渗温度为 520～570℃。

（3）品质要求与检验。非调质钢气体氮碳共渗后的表面硬度离散性略大，对于非调质钢气体氮碳共渗后表面硬度，本标准与 GB/T 22560—2008《钢件的气体氮碳共渗》有所不同。GB/T

22560—2008 中对不同材料有相应的气体氮碳共渗后的表面硬度，而本标准对非调质钢气体氮碳共渗后的表面硬度予以同一，其表面硬度应≥550HV。表面硬度允许偏差值采用 GB/T 22560—2008 的技术要求。共渗层深度参考 GB/T 22560—2008 中优质碳素结构钢的要求制定。共渗层深度允许偏差值基本参考 GB/T 22560—2008 制定，其不同处是总渗层 >0.3～0.6mm 及 >0.6mm 的同一炉内工件渗层深度比 GB/T 22560—2008 的要求略有放宽。

对于检验方式，本标准规定了可采用与工件相同材料、相同状态试样进行检验。若要在工件上检验，具体要求应由委托方与受托方协商确定。

8. 离子渗氮

（1）相关工艺试验。在同样离子渗氮工艺的条件下，非调质钢件的渗层深度比调质钢（如 40Cr、45 钢）较深；表面硬度比调质钢（如 40Cr、45 钢）略高。

（2）离子渗氮工艺方法。根据试验验证，本标准规定了非调质钢离子渗氮工艺方法，可参照 JB/T 6956—2007《钢铁件的离子渗氮》执行。在渗层深度相同的条件下，非调质钢件的离子渗氮时间可适当缩短。

（3）品质要求与检验。根据试验验证，本标准规定了非调质钢件的离子渗氮表面硬度允许偏差值、渗氮层深度允许偏差值基本等效采用 JB/T 6956—2007《钢铁件的离子渗氮》的相关技术指标。

对于检验方式，本标准规定了可采用与工件相同材料、相同状态试样进行检验。若要在工件上检验，具体要求应由委托与受托方协商确定（上海市机械制造工艺研究所有限公司蔡红供稿）

三、标准内容（JB/T 11805—2014）

非调质钢件表面热处理

1 范围

本标准规定了非调质钢件表面热处理质量控制、安全卫生的基本要求。

本标准适用于非调质钢件的表面感应淬火、气体渗氮、气体氮碳共渗及离子渗氮工艺。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5617 钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 11354 钢铁零件 渗氮层深度测定和金相组织检验

GB/T 15712 非调质机械结构钢

GB/T 15735 金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 15822.1 无损检测 磁粉检测 第1部分：总则

GB/T 18177 钢件的气体渗氮

GB/T 22560 钢铁件的气体氮碳共渗

JB/T 6050 钢铁热处理零件硬度检验通则

JB/T 6956 钢铁件的离子渗氮

JB/T 9201 钢铁件的感应淬火回火

JB/T 9204 钢件感应淬火金相检验

JB/T 9218 无损检测 渗透检测

3　术语和定义

GB/T 7232 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1　非调质钢　microalloyed medium carbon steels

不进行调质热处理，通过微合金化、控制轧制（锻制）和控制冷却等强韧化方法，达到或接近调质钢力学性能的一类优质或特殊质量的结构钢。

4　非调质钢件的表面热处理工艺

4.1　感应淬火

利用感应电流通过工件所产生的热量，使工件表层、局部加热并快速冷却的淬火。感应淬火工艺适用于含碳量≥0.30%的非调质钢件。

4.2　气体渗氮

在可提供活性氮原子的气体中进行渗氮的热处理工艺。非调质钢件气体渗氮工艺温度一般＜600℃。对贝氏体型非调质钢件的气体渗氮，应考虑基体韧度下降的影响。

4.3　气体氮碳共渗

在气体介质中，使工件表层同时渗入氮和碳，并以渗氮为主的热处理工艺。非调质钢件气体氮碳共渗工艺温度一般为600℃。对贝氏体型非调质钢件的气体氮碳共渗，应考虑基体韧度下降的影响。

4.4　离子渗氮

在低于 1×10^{5}Pa（通常是 $10\sim10^{-1}$Pa）的渗氮气氛中，利用工件（阴极）和阳极之间产生的辉光放电进行渗氮的热处理工艺。非调质钢件离子渗氮工艺温度一般＜600℃。对贝氏体型非调质钢件的离子渗氮，应考虑基体韧度下降的影响。

5　待处理工件

5.1　常用材料

GB/T 15712 中及其他相关牌号的铁素体-珠光体型和贝氏体型非调质钢件。

5.2　待处理工件的原始状态

根据表1规定的项目记录待处理工件的原始状态，并予以保存。

6　感应淬火回火

6.1　预处理要求

感应淬火回火工艺前的工件一般为锻造或轧制状态，但不允许有晶粒粗大现象，晶粒度一般应控制在5级以上，否则应进行正火处理以细化晶粒。

表1　待处理工件的原始状态

项　　目	备　　注
待处理工件的试验数据	
工件种类	
化学成分①	
炼钢炉号①	
力学性能试验数据①	
硬度试验数据①	
金相组织检验记录①	晶粒度、脱碳层、非金属夹杂物、微观及宏观组织
待处理工件的制造方法①	
锻造	
轧制	
机械加工	

（续）

项目	备注
有无预备热处理 正火	
表面加工品质及矫正精度① 切(磨)削方法及其条件 有无矫正	

① 对表面热处理无妨碍时可省略。

6.2 感应淬火回火处理工艺

感应淬火回火处理工艺应符合 JB/T 9201 的规定。可根据工件形状、材料牌号、设备条件和试验结果，确定加热工艺参数和冷却工艺参数。工件应在淬火后及时回火，回火温度的选择应使工件达到规定的技术要求，也可采用自回火的方法。

6.3 品质要求及检验

6.3.1 外观

6.3.1.1 感应淬火回火后工件的表面不应有裂纹、烧伤及影响使用的伤痕等缺陷。

6.3.1.2 外观检验采用目测或低倍放大镜观察，必要时可根据 GB/T 15822.1、JB/T 9218 规定的方法进行检验。

6.3.2 表面硬度

感应淬火回火件的表面硬度应按 JB/T 6050 或其他技术上约定的硬度检验方法进行检验，表面硬度偏差应符合表 2 或表 3 的规定。

表 2 感应淬火件表面硬度（洛氏）允许偏差范围

工件类型		单件			同批件		
表面硬度 HRC		≤50	>50~60	>60	≤50	>50~60	>60
硬度允许偏差范围	重要件 HRC	≤5	≤4.5	≤4	≤6	≤5.5	≤5
	一般件 HRC	≤6	≤5.5	≤5	≤7	≤6.5	≤6

注：1. 单件的表面硬度允许偏差指的是在同样淬火回火或淬火条件下，在形状、尺寸相同的部位所测得的偏差。
2. 同批件是对用同一批待处理工件在同一操作条件下处理得到的工件的总称。
3. 具体硬化部位的表面硬度允许偏差范围可由委托方与受托方协商确定。

表 3 感应淬火件表面硬度（维氏）允许偏差范围

工件类型		单件		同批件	
表面硬度 HV		≤500	>500	≤500	>500
硬度允许偏差范围	重要件 HV	≤55	≤85	≤75	≤105
	一般件 HV	≤75	≤105	≤95	≤125

注：1. 单件的表面硬度允许偏差指的是在同样淬火回火或淬火条件下，在形状、尺寸相同的部位所测得的偏差。
2. 同批件是对用同一批待处理工件在同一操作条件下处理得到的工件的总称。
3. 具体硬化部位的表面硬度允许偏差范围可由委托方与受托方协商确定。

6.3.3 有效硬化层深度

有效硬化层深度的检验应按 GB/T 5617 或委托方与受托方协商的规定执行。工件有效硬化层深

度偏差应符合表4 的规定。

表4　有效硬化层深度允许偏差范围　（单位：mm）

有效硬化层深度	允许偏差范围		有效硬化层深度	允许偏差范围	
	单件	同批件		单件	同批件
≤1.5	≤0.2	≤0.4	>3.5～5.0	≤0.8	≤1.0
>1.5～2.5	≤0.4	≤0.6	>5.0	≤1.0	≤1.5
>2.5～3.5	≤0.6	≤0.8			

注：1. 单件的有效硬化层深度允许偏差指的是在同样淬火回火或淬火条件下，在形状、尺寸相同的部位所测得的偏差。
2. 同批件是对用同一批待处理工件在同一操作条件下处理得到的工件的总称。
3. 具体硬化部位的允许偏差范围可由委托方与受托方协商确定。

6.3.4　金相组织

金相组织的检验应符合 JB/T 9204 的规定，验收标准应由委托方与受托方协商确定。

6.3.5　畸变

工件的畸变应不影响后续的机械加工及使用。具体的允许畸变量应当由委托方与受托方协商确定。

6.3.6　检验方式

可采用与工件材料相同、状态相同的随炉试样进行检验。若要在工件上检验，具体要求应当由委托方与受托方协商确定。

7　气体渗氮

7.1　预处理要求

气体渗氮前的工件一般为锻造或轧制状态，但不允许有晶粒粗大现象，晶粒度一般应控制在5级以上，否则应进行正火处理以细化晶粒。

7.2　气体渗氮处理工艺

气体渗氮处理工艺应符合 GB/T 18177 的规定。在渗氮层深度相同的条件下，非调质钢件的气体渗氮时间可适当缩短。

7.3　品质要求及检验

7.3.1　外观

7.3.1.1　外观检验采用目测。表面不应有裂纹、剥落及肉眼可见的疏松等缺陷；在硬度、渗氮层深度和脆性等各项均合格的前提下，渗氮件表面允许存在氧化色。

7.3.1.2　对裂纹等缺陷也可采用磁粉或渗透检测等方法进行检验，检验方法应符合 GB/T 15822.1、JB/T 9218 的规定。

7.3.2　表面硬度

气体渗氮件的表面硬度应按 JB/T 6050 或其他技术上约定的硬度检验方法进行检验，表面硬度偏差应符合表5 的规定。

表5　气体渗氮件表面硬度允许偏差范围

工件类型	单件		同批件	
表面硬度　HV	≤600	>600	≤600	>600
硬度允许偏差范围　HV	≤45	≤60	≤70	≤100

注：1. 同批件是指用相同钢材、经相同预备热处理，并在同一炉次进行渗氮处理后的一组工件。
2. 局部渗氮件的测定位置距渗氮边界的距离应不小于渗层深度值。
3. 具体硬化部位的表面硬度允许偏差范围可由委托方与受托方协商确定。

7.3.3 渗氮层深度

气体渗氮层深度的检验应符合 GB/T 11354 的规定。渗氮件应达到工艺要求的渗氮层深度，其深度偏差应符合表6 的规定。

表6 气体渗氮层深度允许偏差范围 （单位：mm）

渗氮层深度	允许偏差范围	
	单　件	同　批　件
<0.3	≤0.05	≤0.10
≥0.3~0.6	≤0.10	≤0.15
>0.6	≤0.15	≤0.20

注：1. 同批件是指用相同钢材、经相同预备热处理，并在同一炉次进行渗氮处理后的一组工件。
2. 局部渗氮件的测定位置距渗氮边界的距离应不小于渗层深度值的2 倍。
3. 具体硬化部位的渗氮层深度允许偏差范围可由委托方与受托方协商确定。

7.3.4 金相组织

金相组织的检验应符合 GB/T 11354 的规定，验收标准应由委托方与受托方协商确定。

7.3.5 畸变

工件的畸变应不影响后续的机械加工及使用。具体的允许畸变量应当由委托方与受托方协商确定。

7.3.6 检验方式

可采用与工件材料相同、状态相同的随炉试样进行检验。若要在工件上检验，具体要求应当由委托与受托方协商确定。

8 气体氮碳共渗

8.1 预处理要求

气体氮碳共渗前的工件一般为锻造或轧制状态，但不允许有晶粒粗大现象，晶粒度一般应控制在5 级以上，否则应进行正火处理以细化晶粒。

8.2 气体氮碳共渗处理工艺

气体氮碳共渗工艺应符合 GB/T 22560 的规定。常用的气体氮碳共渗温度为520~570℃。

8.3 品质要求及检验

8.3.1 外观

外观检验采用目测。表面不应有裂纹、剥落及影响使用的伤痕等缺陷。

8.3.2 表面硬度

气体氮碳共渗件的表面硬度应按 JB/T 6050 或其他技术上约定的硬度检验方法进行检验。经气体氮碳共渗后的表面硬度应≥550HV，表面硬度偏差应符合表7 的规定。

表7 气体氮碳共渗件表面硬度允许偏差范围

表面硬度　HV	单　件	同　批　件
≥550	≤70	≤120

注：1. 同批件是指用相同钢材、经相同预备热处理，并在同一炉次进行气体氮碳共渗处理后的一组工件。
2. 单件、同批件表面硬度最低值应不小于表面硬度要求的最小值。
3. 具体硬化部位的允许偏差范围可由委托方与受托方协商确定。

8.3.3 渗层深度

气体氮碳共渗层深度的检验应符合 GB/T 11354 的规定。渗层深度应符合表 8 的规定，其允许偏差应符合表 9 的规定。

表 8　气体氮碳共渗层深度　（单位：mm）

渗　层　深　度	
化合物层	0.008～0.025
扩散层	≥0.20

表 9　气体氮碳共渗层深度允许偏差范围　（单位：mm）

渗　层　深　度		允许偏差范围		渗　层　深　度		允许偏差范围	
		单件	同批件			单件	同批件
化合物层	≤0.005	≤0.002	≤0.003	总渗层	≤0.3	≤0.05	≤0.10
	>0.005～0.01	≤0.004	≤0.005		>0.3～0.6	≤0.10	≤0.20
	>0.01～0.02	≤0.006	≤0.007		>0.6	≤0.15	≤0.25
	>0.02	≤0.008	≤0.010				

注：1. 同批件是指用相同钢材、经相同预备热处理，并在同一炉次进行气体氮碳共渗处理后的一组工件。
2. 单件、同批件的渗层深度应符合渗层深度的要求。
3. 具体共渗层深度的允许偏差范围可由委托方与受托方协商确定。

8.3.4　金相组织

金相组织的检验应符合 GB/T 11354 的规定，验收标准应由委托与受托方协商确定。

8.3.5　畸变

工件的畸变应不影响后续的机械加工及使用，具体的允许畸变量应当由委托与受托方协商确定。

8.3.6　检验方法

可采用与工件材料相同、状态相同的随炉试样进行检验。若要在工件上检验，具体要求应当由委托方与受托方协商确定。

9　离子渗氮

9.1　预处理要求

离子渗氮前的工件一般为锻造或轧制状态，但不允许有晶粒粗大现象，晶粒度一般应控制在 5 级以上，否则应进行正火处理以细化晶粒。

9.2　离子渗氮处理工艺

离子渗氮处理工艺应符合 JB/T 6956 的规定。在渗氮层深度相同的条件下，非调质钢件的离子渗氮时间可适当缩短。

9.3　品质要求及检验

9.3.1　外观

外观检测采用目测，工件表面不应有裂纹、剥落和明显的电弧烧伤痕迹。离子渗氮件的表面色泽应为银灰色或暗灰色。

9.3.2　表面硬度

9.3.2.1　渗氮层的表面硬度应达到规定的技术要求。对留有加工余量的渗氮件，将渗氮件或渗氮试样表面磨去工艺规定的加工量后，测得的硬度值应不低于成品件所要求的硬度，其硬度偏差应符合表 10 的规定。

表 10 离子渗氮件表面硬度允许偏差范围

工 件 类 型	单 件		同 批 件	
表面硬度 HV	≤600	>600	≤600	>600
硬度允许偏差范围 HV	≤45	≤60	≤70	≤100

注：同批件是指用相同钢材、经相同预备热处理，并在同一炉次进行离子渗氮处理后的一组工件。

9.3.2.2 表面硬度检验方法应按 JB/T 6050 或其他技术上约定的硬度检验方法进行。

9.3.3 离子渗氮层深度

离子渗氮层深度的检验应符合 GB/T 11354 的规定。有效硬化层深度应符合技术要求规定，离子渗氮层深度允许偏差应符合表 11 的规定。

表 11 离子渗氮层深度允许偏差范围 （单位：mm）

渗氮层深度	深 度 偏 差	
	单 件	同 批 件
≤0.3	≤0.05	≤0.10
>0.3~0.6	≤0.10	≤0.15
>0.6	≤0.15	≤0.20

注：同批件是指材料相同，并在同一炉次进行离子渗氮处理后的一组工件。

9.3.4 金相组织

金相组织的检验应符合 GB/T 11354 的规定，验收标准应由委托方与受托方协商确定。

9.3.5 畸变

工件的畸变应不影响后续的机械加工及使用，具体的允许畸变量应当由委托方与受托方协商确定。

9.3.6 检验方式

可采用与工件材料相同、状态相同的随炉试样进行检验。若要在工件上检验，具体要求应当由委托方与受托方协商确定。

10 检测设备

所用的硬度计、金相显微镜等检测设备应具有计量部门颁发的合格证，并在检定的有效期内使用。

11 产品报告单

产品报告单应包括以下内容：

——工件名称和图号；

——工件材料牌号；

——单件质量及数量；

——检测判断依据；

——品质检验结果；

——操作者姓名或代号；

——加工单位名称；

——报告日期。

12 安全、卫生要求

非调质钢件表面热处理的安全、卫生要求应符合 GB/T 15735 的规定。

第二十七节　氮碳氧复合处理（QPQ）技术要求

一、概论

氮碳氧复合处理（QPQ）是近些年发展起来的对零件表面进行改性处理得很理想的工艺技术，特别对于汽车、石油等行业有重要的应用。氮碳氧复合处理（QPQ）后的零件表面同时具有极高的耐磨性和耐蚀性，零件变形小，操作方便简单，生产成本低。随着国民经济的发展和科技的进步，氮碳氧复合处理（QPQ）技术被运用到了越来越多的行业和材料中。该标准的制定，能促进我国氮碳氧复合处理（QPQ）行业的发展水平，提高氮碳氧复合处理（QPQ）产品的质量，同时也为氮碳氧复合处理（QPQ）技术向更高层次的发展和研发指明了方向。

1. 氮碳氧复合处理（QPQ）技术的现状

氮碳氧复合处理（QPQ）技术开发以后，已有包括我国在内的40多个国家和地区引进或采用了这项技术。例如：美国通用电器公司（GE）用这项新技术成功地取代了内燃机车缸套的镀硬铬工艺，消除了六价铬对环境的污染，并提高了产品的耐磨性和耐蚀性；美国康明斯公司利用此项技术解决了进、排气门的耐磨耐蚀问题；德国大众轿车的凸轮轴，奥地利斯太尔重型汽车驱动桥减速器的内齿轮也采用了这项技术；该技术几乎被日本所有汽车厂家采用，其中以本田公司最有代表性，该公司在各地有五座大型自动化设备，处理零件达150多种，年处理量达6万t。

20世纪80年代末期，我国的戚墅堰机车车辆厂、山东潍坊柴油机厂、杭州汽车发动机厂等先后以高价从德国引进了成套技术设备，分别用于处理内燃机车柴油机缸套，柴油机曲轴和汽车发动机曲轴。后来上海大众汽车厂、天津缝纫机公司也采用和引进了这项技术。但这些厂要长期高价向德国购买氮碳氧复合处理（QPQ）工艺材料。

本标准执笔人作为主研人于20世纪90年代中期在我国独立开发出了成套氮碳氧复合处理（QPQ）技术，打破了德国独家国际垄断，成功代替进口，获国家科技进步二等奖。自此，我国未再成套引进氮碳氧复合处理（QPQ）技术。随着制造行业全球化，国际大公司在我国建工厂、采购零部件，近20年来氮碳氧复合处理（QPQ）技术的需求逐年递增，特别是氮碳氧复合处理（QPQ）技术的创新发展，赋予其更广更大的应用领域。目前在我国，国产、进口和国外公司独资的氮碳氧复合处理（QPQ）生产线已有数百条之多在运行。但关于氮碳氧复合处理（QPQ）技术国内外尚无通用标准，主要执行的是制造商企业标准中的工件氮碳氧复合处理（QPQ）技术规范和检验规范。

2. 国内技术与国外技术差异

（1）金相组织和渗层性能。金相组织包含的渗层深度、硬度、渗层的致密度以及渗入速度，渗层性能包含的耐磨性和耐蚀性，国内技术完全可以达到国外技术水平。例如：国内企业按照美国斯伦贝谢、德国巴马格等公司提供的氮碳氧复合处理（QPQ）加工的技术规范和技术指标，采用国内技术加工的产品，其技术指标达到和超过国外公司的技术要求。但能有此技术水平的国内企业仅两家。

（2）工艺材料。国内工艺材料生产厂家有20多家，但工艺材料的功能和质量稳定性参差不齐。与国外工艺材料功能相比，仅再生盐有一定差距，表现在国内再生盐的收得率低于国外再生盐的收得率。另外工艺材料形状的商品性低于国外。但国内工艺材料的价格仅为国外工艺材料价格的1/3～1/2。

（3）环保措施。德国迪高沙公司开发的氮碳氧复合处理（QPQ）技术曾在德国巴伐利亚州获环境保护贡献奖。氮碳氧复合处理（QPQ）技术的环境保护，国内和国外采取的措施和方法都一

样。一方面通过不断改变工艺材料的配方，确保工艺材料本身不含有害物质，工艺材料使用过程中产生的有害物质大大减少；另一方面通过辅助装置处理工艺材料使用过程中产生的有害物质，确保氮碳氧复合处理（QPQ）技术无公害。国外公司在本国和我国均按此执行。但国内大部分公司的环保意识不够，根本不具备无公害工艺材料配方的开发能力，照样对外宣传拥有氮碳氧复合处理（QPQ）技术，同时对三废不采取任何措施就直接排放。造成在我国仍有相当多的观点认为，氮碳氧复合处理（QPQ）技术对环境是有害的。

3. 氮碳氧复合处理（QPQ）技术的发展

（1）就氮碳氧复合处理（QPQ）技术的性能特点和适用的金属材料以及产品来说，这项技术有非常广泛的应用前景。正在高速发展的汽车、石油装备等支柱产业，正在进行技术改造和产品更新换代的很多行业都急需这项新技术。这项技术必将在更多领域内发挥越来越广泛的作用。为提高我国机械产品的质量，为我国的机械制造业早日达到世界先进水平，应规范氮碳氧复合处理（QPQ）技术。

（2）对氮碳氧复合处理（QPQ）技术制造商和使用氮碳氧复合处理（QPQ）技术的厂家进行认证管理。根据氮碳氧复合处理（QPQ）设备是否节能、氮碳氧复合处理（QPQ）工艺材料质量好坏和能否达到环保要求、是否具备规模化生产能力和能否达到安全卫生等条件决定是否发给生产许可证，以杜绝假冒伪劣产品混入市场，对环境造成危害，影响我国氮碳氧复合处理（QPQ）技术的整体水平。

（3）进一步改进氮碳氧复合处理（QPQ）技术工艺材料，提高渗层质量和减少三废排放。提高工艺材料商品外观，向颗粒状和球状的成品盐方向发展。

（4）针对很多重负荷工件、高速摩擦工件以及机械行业磨损量很大的零部件，开发渗层更厚的深层氮碳氧复合处理（QPQ）技术。目前我国已有两家厂家研究开发出深层氮碳氧复合处理（QPQ）技术，处理的工件渗层达到国外样件水平，应加大推广应用。

（5）针对奥氏体型不锈钢工件和中碳结构钢工件经氮碳氧复合处理（QPQ）后，在提高奥氏体型不锈钢耐磨性的同时不降低耐蚀性，在提高中碳结构钢耐磨性和耐蚀性的同时不降低强度，开发在低温条件下进行氮碳氧复合处理（QPQ）的技术，从而使氮碳氧复合处理（QPQ）技术的应用范围更加广泛。

（6）制定《氮碳氧复合处理（QPQ）技术要求》行业标准，可规范氮碳氧复合处理（QPQ）技术制造商，规范和指导使用氮碳氧复合处理（QPQ）技术的厂家，指导选用氮碳氧复合处理（QPQ）技术的厂家，提高氮碳氧复合处理（QPQ）工件的质量，促进我国氮碳氧复合处理（QPQ）技术的推广应用，促进相关行业的健康发展，推动氮碳氧复合处理（QPQ）技术发展和进步。

二、标准应用说明

1. 编制原则

（1）先进性。本标准的制定主要是参考国外几家跨国公司氮碳氧复合处理（QPQ）的技术规范和国内几家拥有先进氮碳氧复合处理（QPQ）技术公司的企业标准，结合未来技术的发展方向进行的首次制定，技术内容全面，技术水平高。

（2）实用性。氮碳氧复合处理（QPQ）技术的设备、工艺材料、工艺规范和环保要求均采用或借鉴制造公司的企业标准，以及使用氮碳氧复合处理（QPQ）公司的生产技术工艺文件内容。这些资料和数据都是经过生产验证的，实用性强。

（3）编制本标准过程中结合我国热处理行业的现状，制定的条款更能促进和推动我国热处理

行业的发展和进步。

（4）本标准的主要技术内容依据试验结果和相关工艺技术标准，严格依据相关的国家标准和国家法规。

2. 主要内容

本标准的技术内容主要包括以下几个方面：①规定了 QPQ 热处理设备的组成及要求；②规定了 QPQ 工艺材料的要求；③给出了 QPQ 热处理的工艺规范；④给出了常用材料经 QPQ 热处理后的性能数据；⑤规定了 QPQ 热处理安全卫生和环保的要求；⑥给出了氰酸根化学分析方法。

主要技术内容的确定：

1）氮碳氧复合处理（QPQ）定义取消了淬火—抛光—淬火的中文直译，使术语与定义吻合，避免曲解氮碳氧复合处理（QPQ）定义。

2）氮碳氧复合处理（QPQ）生产线设备主要由预热炉、氮化炉、氧化炉、控制系统、处理前后冷热水清洗槽（清洗机）、加热油槽、抽风系统、抛光设备、吊运系统等组成。

3）添加再生盐的公式为

$$G = 1.3(Y - X)\frac{M}{100}$$

式中　G——需添加再生盐的质量（kg）；

Y——预定达到氰酸根浓度的百分数（%）；

X——盐浴中氰酸根浓度的百分数（%）；

M——坩埚内盐浴的质量（kg）。

式中系数 1.3 是基于国内氮碳氧复合处理（QPQ）工艺材料生产企业提供的 1.0～1.6 系数的中间值。

解决的主要问题：规范 QPQ 热处理技术制造商，规范和指导使用 QPQ 热处理技术的厂家，指导选用 QPQ 热处理技术的厂家，提高 QPQ 热处理工件的质量，促进我国 QPQ 热处理技术的推广应用，促进相关行业的健康发展，推动 QPQ 热处理技术发展和进步。

3. 主要实验（或验证）情况分析

本次编制《氮碳氧复合处理（QPQ）技术要求》行业标准是在总结生产经验、对一系列常用材料进行氮碳氧复合处理（QPQ）的基础上，认真分析和比较提出来的。标准中涉及的所有数据、检测方法均已通过实验验证，具有先进性、实用性和可操作性。

近年来，金属材料表面改性技术的发展相当迅速，同时装备制造业的发展对金属材料提出了更高的要求。氮碳氧复合处理（QPQ）技术的开发和在世界范围内的迅速普及应用就是其中最重要的实例之一。

通常表面硬化技术只能提高金属表面的耐磨性，表面抗蚀技术一般只能提高金属表面的耐蚀性，而氮碳氧复合处理（QPQ）技术则可以同时大幅度提高金属表面的耐磨性和耐蚀性，提高的幅度均比常规硬化和抗蚀技术高数倍以上。因此，在国外把这项技术称为冶金学领域内革命性新技术。同时该技术还具有工件几乎不变形、节能、环保等优点。（西华大学罗德福供稿）

三、标准内容（JB/T 待批）

氮碳氧复合处理（QPQ）技术要求

1　范围

本标准规定了氮碳氧复合处理（QPQ）技术的设备要求、工艺材料要求、工艺要求、质量控制

与检验、安全卫生和环保要求。

本标准适用于黑色金属、铸铁和不锈钢氮碳氧复合处理（QPQ）。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 230.1 金属洛氏硬度试验 第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）

GB 443 L-AN全损耗系统用油

GB/T 4340.1 金属材料维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB 5959.1 电热装置的安全 第1部分：通用要求

GB 5959.4 电热装置的安全 第4部分：对电阻加热装置的特殊要求

GB 6067 起重机械安全规程

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 8121 热处理工艺材料 术语

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10067.1 电热设备基本技术条件 第1部分：通用部分

GB/T 10067.4 电热设备基本技术条件 第4部分：间接电阻炉

GB/T 11354 钢铁零件 渗氮层深度测定和金相组织检验

GB 14554 恶臭污染物排放标准

GB 15735 金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 22560 钢铁件的气体氮碳共渗

GB/T 27945.1～3 热处理盐浴有害固体废物的管理

GB/T 27946 热处理工作场所空气中有害物质的限值

GB/T 30822 热处理环境保护技术要求

GB/T ×××× 热处理质量控制体系

JB/T 6050 钢铁热处理零件硬度检验通则

JB/T 6090 抛光机

3 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121、GB/T 11354中界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 氮碳氧复合处理（QPQ）：Quench-Polish-Quench

工件经过盐浴氮碳共渗和盐浴氧化处理以后，再进行抛光和盐浴氧化的复合处理工艺过程。

4 设备要求

4.1 一般要求

4.1.1 生产线设备的组成

生产线主要由预热炉、氮碳共渗炉、氧化炉、控制系统、前清洗和后清洗装置、油槽、抽风系统、抛光设备、吊运系统、专用夹具等组成。

4.1.2 规格型号

设备的型号规格通常以炉体功率大小和工作区尺寸表示。

4.1.3 设计和制造

设备设计和制造应符合GB 5959.1、GB 5959.4、GB/T 10067.1、GB/T 10067.4中有关要求。

4.2 预热炉

4.2.1　预热炉一般为外热式坩埚电阻炉，也可为其他符合预热要求的电阻炉，最高加热温度一般为650℃。

4.2.2　预热炉应设置热风风机和导风装置，必要时应采用多区加热，以确保炉温均匀性。

4.3　氮碳共渗炉

4.3.1　氮碳共渗炉为外热式坩埚电阻炉，最高加热温度一般为700℃。

4.3.2　氮碳共渗炉有效加热区的炉温均匀性应≤±8℃，有效加热区的炉温均匀性应按GB/T 9452的规定测定。控温精度应符合GB/T ××××《热处理质量控制体系》的规定。

4.3.3　氮碳共渗炉有效加热区容积（坩埚容积）>0.4m^3时，一般应采用多区加热，以确保炉温均匀性。

4.3.4　氮碳共渗炉坩埚材料应采用不锈钢、钛复合板或纯钛板材料，坩埚尺寸与预热炉坩埚一样，坩埚容积>0.4m^3时，坩埚侧面材料厚度应≥8mm，坩埚底部材料厚度应≥10mm。

4.3.5　氮碳共渗炉坩埚使用寿命应确保不低于一年，并定期更换。

4.3.6　氮碳共渗炉应具有漏盐报警装置和相应的安全保护装置。

4.3.7　氮碳共渗炉应具有抽风装置，并符合4.9要求。

4.3.8　氮碳共渗炉炉盖可选择电动升降炉盖或气动升降炉盖，并在炉盖上设置加盐口。

4.4　氧化炉

4.4.1　氧化炉为外热式坩埚电阻炉，最高温度一般为550℃。

4.4.2　氧化炉有效加热区的炉温均匀性应≤±10℃，有效加热区的炉温均匀性应按GB/T 9452的规定测定。控温精度应符合GB/T ××××《热处理质量控制体系》的规定。

4.4.3　氧化炉有效加热区容积（坩埚容积）>0.4m^3时，一般应采用多区加热，以提高炉温均匀性。

4.4.4　氧化炉坩埚材料可采用普通碳钢或耐热不锈钢材料，氧化炉坩埚容积应比氮化炉大10%以上；坩埚容积>0.4m^3时，坩埚侧面材料厚度应≥8mm，坩埚底部材料厚度应≥10mm。

4.4.5　氧化炉应具有漏盐报警装置和相应的安全保护装置。

4.4.6　氧化炉应具有抽风装置，应符合4.9要求。

4.4.7　氧化炉炉盖可选择电动升降炉盖或气动升降炉盖，并在炉盖上设置加盐口。

4.5　控制系统

4.5.1　外热式坩埚电阻炉应符合GB/T ××××《热处理质量控制体系》对设备和仪表的要求。

4.5.2　每个加热区应有两支热电偶，一支接控温仪表，安装在坩埚与电阻丝之间处，另一支接温度记录仪表，安放在坩埚内，仪表应具有报警功能；热电偶应定期校验，保证正常使用。

4.5.3　控制系统应能显示、控制和记录温度，应能记录、存储工艺全过程，具有到温自动计时，到时自动报警和漏盐报警功能，具有过流、过载、缺相保护功能。

4.6　清洗装置

4.6.1　清洗装置分前清洗和后清洗装置，可采用清洗槽或清洗机。

4.6.2　清洗槽应采用玻璃钢或不锈钢制成，其有效尺寸根据氮化炉坩埚尺寸确定，具有搅拌功能。

4.6.3　热水清洗槽温控装置由热电偶或热电阻测温，温控仪控温，使用温度≥80℃。

4.6.4　前清洗装置应设有废水回收装置。

4.6.5　后清洗装置应设有废盐回收装置。

4.6.6　采用清洗机清洗工件，清洗机应符合上述要求。

4.7　抛光设备

4.7.1　根据工件的形状和技术要求选择抛光设备和抛光方法。

4.7.2 抛光设备应符合 JB/T 6090 中有关规定。

4.8 油槽

4.8.1 油槽应采用玻璃钢或不锈钢制成，其有效尺寸根据氮碳共渗炉坩埚尺寸确定。

4.8.2 油槽可选择加热，加热油槽必须配置温控系统，使用温度低于油品燃点以下 30～50℃。

4.9 抽风系统

4.9.1 氮碳共渗炉和氧化炉炉口需安装密闭排风装置或抽风罩，抽风罩高度＞200mm，保证炉气不外泄；车间内抽风管道布置视现场具体情况确定。

4.9.2 抽风管道的直径一般根据风机功率大小和抽风管道长度确定，选择管道材料的原则为经济和耐用，车间内外可采用不同管道材料制作抽风管道。

4.9.3 抽风风机放置于车间外避雨处，其大小和功率根据 QPQ 设备规格确定。

4.9.4 抽风系统车间外部分应安装废气收集和处理装置，确保废气排放符合 GB 14554、GB/T 27946、GB/T 30822、GB 15735 中有关要求；废气收集和处理装置原理见附录 A。

4.9.5 抽风系统应定期清洗。

4.10 吊运系统

4.10.1 起重机械应满足 QPQ 生产线操作要求，根据 QPQ 设备规格选用相应载荷的电葫芦。

4.10.2 吊运系统设计、制造和安装应符合 GB 6067 中有关规定。

5 工艺材料要求

5.1 工艺材料的组成

工艺材料由基盐、再生盐和氧化盐组成。

5.2 工艺材料的性能

5.2.1 基盐

5.2.1.1 基盐是钾、钠和锂的碳酸盐和氰酸盐的混合物。基盐加入氮碳共渗炉中，主要为工件盐浴氮碳共渗提供活性氮碳原子，当氮碳共渗炉坩埚中液面下降时，应补充基盐升高液面。

5.2.1.2 基盐呈白色块状、粉末状或其他形状，成分中不能含重金属；添加和补充基盐时不能产生气体。

5.2.1.3 基盐可在 480～650℃之间使用，出厂时盐浴中的氰酸根含量为 37% 或由供需双方商定，偏差≤±1%。

5.2.2 再生盐

5.2.2.1 工件盐浴氮碳共渗发生反应和加热时盐浴自然分解，盐浴中氰酸根会不断下降。再生盐是一种有机物，用于调整盐浴中活性成分氰酸根的含量。

5.2.2.2 再生盐为白色，成分中不能含重金属；添加再生盐时只能产生微量气体。

5.2.2.3 再生盐的添加数量，一般情况下参考如下公式：

$$G = 1.3(Y - X)\frac{M}{100} \tag{1}$$

式中 G——需添加再生盐的质量（kg）；

Y——预定达到氰酸根浓度的百分数（%）；

X——盐浴中氰酸根浓度的百分数（%）；

M——坩埚内盐浴的质量（kg）。

5.2.2.4 再生盐不能用于氮化盐浴液面的补充。

5.2.3 氧化盐

5.2.3.1 氧化盐是碱、碱金属硝盐和碳酸盐的混合物。氧化盐加入氧化炉中，主要用于对氮碳共

渗后工件进行氧化，以消除残余氰根离子，做到无公害，同时进一步增加工件的抗腐蚀性能。当氧化炉坩埚中液面下降时，应补充氧化盐升高液面。

5.2.3.2　氧化盐为淡黄色粉末状，成分中不应含有重金属。

5.2.3.3　氧化盐使用温度为350～450℃。

5.3　使用和维护

盐在生产过程中的使用和维护参考供方提供的QPQ工艺材料使用说明书。

5.4　包装、标志

包装应做到防潮和正常运输过程中不破损，外包装上工艺材料名称和生产企业名称醒目，内附合格证。

6　工艺要求

6.1　工艺流程

装夹→前清洗→预热→盐浴氮碳共渗→盐浴氧化→后清洗→抛光→烘干→二次盐浴氧化→再清洗→干燥→浸油。

QPQ工艺是一个复合处理工艺过程，在执行工艺时，依据工件的技术要求，工序可进行增减。

6.2　工艺规范

6.2.1　根据工件单件大小、产能要求和生产班次，确定设备规格型号。

6.2.2　根据QPQ工艺材料使用说明书，将基盐和氧化盐分别熔入氮碳共渗炉和氧化炉中。

6.2.3　根据工件的特征（材料牌号、尺寸、处理前的状态等）、技术要求、批量及设备条件等，制定合理的QPQ工艺。

6.3　工艺过程要求

6.3.1　工件验收

6.3.1.1　工件材质的牌号和化学成分应符合相关标准规定。

6.3.1.2　工件状态（材料的原始组织和性能指标、加工方法、预备热处理等）应符合验收要求。

6.3.1.3　工件形状、尺寸、数量应与图样、工序跟单或送货单相符，外观无裂纹、磕碰、锈蚀等缺陷。

6.3.2　装夹

6.3.2.1　大批量生产的工件应采用专用夹具；批量不大，品种又多的工件可以采用通用夹具。

6.3.2.2　每炉次最大装炉量小于盐浴质量的50%。

6.3.2.3　工件应避免与工件和夹具直接面接触，以防止接触面部位渗层品质下降。

6.3.2.4　带盲孔或凹槽的工件，盲孔或凹槽应向下，以免其中积盐。

6.3.2.5　杆状和板状工件应垂直装夹，以减少变形。

6.3.2.6　工件处理时，装工件的夹具应悬置于坩埚内；夹具底端距坩埚底部的距离应≥50mm，夹具顶端距坩埚内盐浴面的距离应≥50mm。

6.3.3　前清洗

6.3.3.1　清洗槽应符合4.6的要求。

6.3.3.2　装夹好的工件应经金属清洗剂溶液清洗、冷水清洗和热水清洗，做到去除工件油污和污物。

6.3.3.3　采用清洗机清洗工件，做到去除工件油污和污物，并应吹（烘）干，然后装夹。

6.3.3.4　金属清洗剂应符合使用要求。

6.3.3.5　清洗过程不得对工件表面产生有害影响。

6.3.4　预热

6.3.4.1 预热炉应符合 4.2 的要求。

6.3.4.2 预热工序的作用是去除工件表面和盲孔中的水分，防止工件带水进入氮碳共渗炉发生盐液爆溅伤人，确保氮碳共渗炉炉温不会降低太多，及提高工件表面质量。

6.3.4.3 根据工件材料、每炉次装炉量等合理选择预热温度和预热时间。

6.3.4.4 预热温度一般为 350～400℃，预热时间可参照下面公式：

$$t = akD \tag{2}$$

式中 t——预热时间，单位为分钟（min）；

a——加热系数，碳钢一般为 1.1～1.4，合金钢一般为 1.6～2.0，单位为分钟每毫米（min/mm）；

k——工件装炉条件修正系数，通常取 1.0；

D——工件有效厚度，单位为毫米（mm）。工件有效厚度一般按以下规定考虑，圆柱形工件按直径计算。对于管形（空心圆柱件）工件：当高度/壁厚≤1.5 时，以高度计算；当高度/壁厚 >1.5 时，以 1.5 壁厚计算；当外径/内径≥7 时，按实心圆柱体计算；空心内圆锥体工件以外径乘以 0.8 计算。

6.3.4.5 工件预热方式一般为到温入炉加热，时间一般采取到温计时。

6.3.4.6 工件经过预热，外观应呈均匀稻草黄或蓝紫色。

6.3.5 盐浴氮碳共渗

6.3.5.1 氮碳共渗炉应符合 4.3 的要求。

6.3.5.2 基盐和再生盐应符合 5.2.1 和 5.2.2 要求。

6.3.5.3 根据工件的化学成分、原始组织、技术要求等合理选择盐浴氮碳共渗温度、盐浴氮碳共渗时间和氮碳共渗盐浴中氰酸根含量范围。

6.3.5.4 氰酸根具体含量应根据工件的技术要求和工艺参数来选择，通常基盐氰酸根含量控制在 28%～39% 范围。氰酸根化学分析方法见附录 B。

6.3.5.5 常用材料的盐浴氮碳共渗温度和盐浴氮碳共渗时间见附录 C。

6.3.5.6 通过对预先试件的检查，合理确定盐浴氮碳共渗工艺参数。

6.3.5.7 通过核验试件，修正盐浴氮碳共渗工艺参数。

6.3.5.8 工件进入氮碳共渗炉后，炉温下降未超过 20℃，共渗时间从工件入炉时开始计算；炉温下降超过 20℃，共渗时间应从炉温上升到设定温度时开始计算。

6.3.5.9 氮碳共渗盐浴中的氰酸根含量应严格控制，生产初期需每天测量其含量，生产进入正常，掌握规律以后每周测量一至两次氰酸根即可。

6.3.5.10 氮碳共渗盐浴处理一定时间后，应根据氰酸根含量变化，适时添加再生盐。

6.3.5.11 添加再生盐时，盐浴温度应控制在 540℃ ±10℃，以使得再生盐反应更加充分，减少再生盐挥发，提高收得率。

6.3.5.12 添加再生盐后盐浴应反应 1h 以后才能继续生产；在需要大量添加再生盐以大幅度提高氰酸根含量时，应遵循多次少量的原则。

6.3.5.13 氮碳共渗盐浴液面高度下降，应添加基盐，基盐的添加量由氮碳共渗盐浴液面高度决定。

6.3.5.14 氮碳共渗盐浴处理 10h 后应进行除渣。

6.3.5.15 氮碳共渗盐浴中捞出的渣，冷却后敲碎，放入氧化盐浴中处理。

6.3.5.16 通常基盐的补充与再生盐的添加和除渣工艺协同进行。

6.3.5.17 盐浴氮碳共渗时如需要向氮碳共渗盐浴中通入压缩空气，应具备专用通气装置。

6.3.5.18　通气装置由压缩空气（或氧气瓶）、干燥器、流量计、连接管及插入盐浴的不锈钢管组成。
6.3.5.19　通入渗氮盐浴中压缩空气量按下式计算：

$$Q = 2/3(0.10 \sim 0.15)G \tag{3}$$

式中　Q—通往压缩空气流量（L/min）；
　　G——盐浴的质量（kg）。
6.3.5.20　推荐的盐浴通气量见附录 D。
6.3.5.21　铜、铝、锌等有色金属不允许进入氮碳共渗盐浴中。
6.3.5.22　表面污染、锈蚀和未经预热的工件，不能进入炉子进行盐浴氮碳共渗。
6.3.5.23　工件从氮碳共渗炉中出来进入氧化炉时，间隔时间需合理控制，既要避免工件在空气中过度氧化，又要尽量使工件表面氮碳共渗盐浴滴干净。
6.3.5.24　抽风系统应符合 4.9 要求，在生产过程中应正常工作。
6.3.5.25　定期校正氮碳共渗炉炉温（连续生产每月不少于一次，非连续生产每次开炉升温后需校温）。
6.3.6　盐浴氧化
6.3.6.1　氧化炉应符合 4.4 的要求。
6.3.6.2　氧化盐应符合 5.2.3 的要求。
6.3.6.3　根据工件材料、技术要求、每炉次装炉量等合理选择盐浴氧化温度和盐浴氧化时间。
6.3.6.4　盐浴氧化温度一般为 350～450℃，盐浴氧化时间一般为 10～120min。
6.3.6.5　通过对预先试件的检查，合理确定盐浴氧化工艺参数。
6.3.6.6　通过核验试件，修正盐浴氧化工艺参数。
6.3.6.7　工件由氮碳共渗炉进入氧化炉会产生少量烟雾，甚至产生火花，属正常现象。
6.3.6.8　氧化盐浴液面高度下降，应添加氧化盐，氧化盐的添加量由氧化盐浴液面高度决定。
6.3.6.9　单次添加氧化盐质量大于坩埚内盐浴重量的 10% 时，应将盐浴升温到 500℃ 保温 2h 调整。
6.3.6.10　应根据处理工件的材质、数量等参数来确定氧化盐浴需氧化多少炉次以后进行沉渣；当没有达到规定炉次之前而氧化盐浴变稠或发红、零件氧化后外观不均匀或发红，也应进行除渣。
6.3.6.11　氧化盐浴中捞出的渣按 GB/T 27945 规定执行。
6.3.6.12　定期校正氧化炉炉温（连续生产每月不少于一次，非连续生产每次开炉升温后需校温）。
6.3.7　后清洗
6.3.7.1　清洗槽应符合 4.6 要求。
6.3.7.2　盐浴氧化出炉后的工件应经第一个冷水槽冷却、第二个冷水槽清洗和第三个热水槽清洗，做到去除工件残盐。
6.3.7.3　高合金钢、变形要求高的工件盐浴氧化出炉后应在空气中冷却，冷却到 100℃ 以下再进入冷热水槽。
6.3.7.4　定期回收第一个冷水槽中的废盐，并将废盐烘干后放入氧化盐浴中使用。
6.3.7.5　第一个冷水槽中的水应定期采取措施处理，达到环保规定要求，才能排放。
6.3.7.6　第二个冷水槽用流动水清洗，可正常排放。
6.3.7.7　清洗过程不应对工件表面产生有害影响。
6.3.8　抛光

6.3.8.1 抛光的作用是除去工件表面的疏松层，降低工件表面粗造度，以利于大幅度提高工件二次氧化后的抗腐蚀性能。
6.3.8.2 根据工件形状、技术要求等合理选择抛光方法和抛光设备。
6.3.8.3 抛光设备应符合4.7的要求。
6.3.8.4 螺旋振动抛光机和离心振动抛光机，适用于小型零件和不规则零件的浅层抛光。
6.3.8.5 杆棒状无心磨抛光机，适用于杆、棒状零件如活塞杆、销轴类零件的抛光。
6.3.8.6 普通砂轮式抛光机，适用于尺寸较大且外形相对规则的零件的抛光。通过选择不同种类的抛光轮从而达到不同的抛光效果。
6.3.8.7 根据工件外观要求、性能要求等合理控制抛光程度。
6.3.8.8 抛光过程不应对工件表面产生有害影响。
6.3.9 二次盐浴氧化
6.3.9.1 二次盐浴氧化温度一般为400～450℃，盐浴氧化时间一般为10～60min。
6.3.9.2 其他应符合6.3.6的要求。
6.3.10 再清洗

再清洗应按6.3.7要求执行。

6.3.11 浸油
6.3.11.1 油槽应符合4.8的要求。
6.3.11.2 油槽加入合理高度的L-AN15～L-AN68全损耗系统用油，油品应符合GB 443要求。
6.3.11.3 工件干燥后应从夹具上取下来，并放入专用浸油筐内。
6.3.11.4 工件采用浸热油，浸油温度一般为低于油品燃点以下30～50℃，浸油时间一般为5～10min。
6.3.11.5 工件浸油后应放置5～10min，使油滴干。
6.3.11.6 浸油过程不得对工件表面产生有害影响。
6.3.12 过程记录

对温度、时间、氰酸根浓度、盐浴调整、抛光等工艺参数应按规定专门设计表格进行记录（见附录E），并予以保存，必要时应得到有关人员的确认。

7 质量控制与检验

7.1 质量控制

质量控制按GB/T ××××《热处理质量控制体系》和本标准有关规定执行。

7.2 质量要求及检验
7.2.1 试样
7.2.1.1 试样的材料和原始状态应与QPQ工艺处理的工件相同。
7.2.1.2 试样尺寸一般为20mm×10mm×10mm，其表面粗糙度≤0.32μm。
7.2.1.3 试样应符合GB/T 22560有关要求。
7.2.2 外观
7.2.2.1 经QPQ工艺处理的产品表面呈黑色或蓝黑色。
7.2.2.2 在500Lx的亮度下，距灯300mm肉眼观察，工件表面应无裂纹、伤痕、发红，颜色均匀一致，表面质量满足工件的技术要求。
7.2.3 硬度
7.2.3.1 经QPQ工艺处理的工件表面硬度应符合工件技术要求，其偏差值应不低于GB/T 22560有关规定。

7.2.3.2　表面硬度的检查使用维氏硬度计，通常用0.98N、2.94N和4.9N载荷测量维氏硬度，不可以用洛氏等其他硬度计测量，更不可以用锉刀检验表面硬度。

7.2.3.3　表面硬度测试在QPQ工艺同炉处理的试样上进行，将试样用500目以上的砂纸轻磨至出现金属光泽为止，然后在磨光面上测量硬度。

7.2.3.4　工件表面硬度值的计算以测量的最高硬度值为准。

7.2.3.5　经QPQ工艺处理的工件的基体硬度应符合工件技术要求。

7.2.3.6　硬度测试按照GB/T 230.1、GB/T 4340.1、JB/T 6050要求进行。

7.2.4　渗层深度

7.2.4.1　渗层深度应符合工件技术要求，其偏差值应符合GB/T 22560有关规定。

7.2.4.2　渗层深度的测量采用金相法和断面硬度法，按GB/T 11354规定执行。渗层深度的测量有争议时，以断面硬度法为仲裁方法。

7.2.4.3　渗层深度包括氧化膜、化合物层和扩散层深度。

7.2.4.4　通常不检查氧化膜的深度，只测量化合物层的深度，扩散层深度在有要求时才作测量。

7.2.5　金相组织

金相组织应达到工件技术要求的正常组织，应不低于GB/T 11354要求。

7.2.6　畸变量

畸变量应符合工件技术要求。

7.2.7　其他

根据工件技术要求，按相关标准可对相应试样作力学性能、耐磨性、耐蚀性等项目的测试。

8　安全卫生和环保要求

8.1　安全卫生要求应符合GB 15735、GB 5959.1、GB 5959.4和GB/T 30822相关规定要求。

8.2　工艺材料生产过程和工艺实施过程中产生的废水、废液、废气、废渣等应采取措施收集和处理，不应对环境造成不良影响。

8.3　工艺材料生产过程和工艺实施过程中产生的废气、废水排放，应符合GB 14554、GB/T 27946、GB/T 30822、GB 15735中有关规定的要求。

8.4　工艺材料生产过程和工艺实施过程中产生固体废弃物的排放，按GB/T 27945有关规定执行。

8.5　生产过程中突发停电、停水等意外情况时，设备应有相应的保护措施，以保护人员、设备和零件的安全。

8.6　在所有可能造成人员伤害的地方设置警告牌。

附　录　A

（规范性附录）

废气收集和处理装置原理

A.1　抽风系统室外部分示意图（见图A.1）

A.1.1　车间内抽出的废气进入上图右边吸收塔，废气在塔内经过水雾喷淋处理。

A.1.2　废气经过一次处理后，进入上图左边吸收塔，废气在塔内再次经过水雾喷淋处理。

A.1.3　废气经过两次水雾喷淋处理后，达到环保要求，通过排气筒排入大气。

A.1.4　喷淋的水中加入少量盐酸，加入盐酸量根据废气处理量确定。

A.1.5　处理原理：$NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$。

A.1.6　喷淋的水定期捞出沉淀物和加入盐酸，水重复使用。

A.2　吸收塔内部结构图（见图A.2）

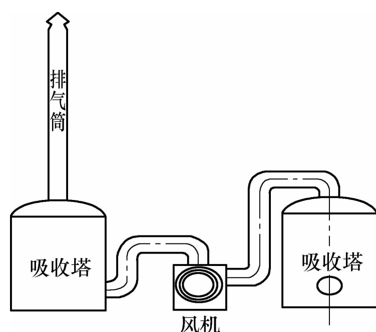


图 A.1 抽风系统室外部分示意图

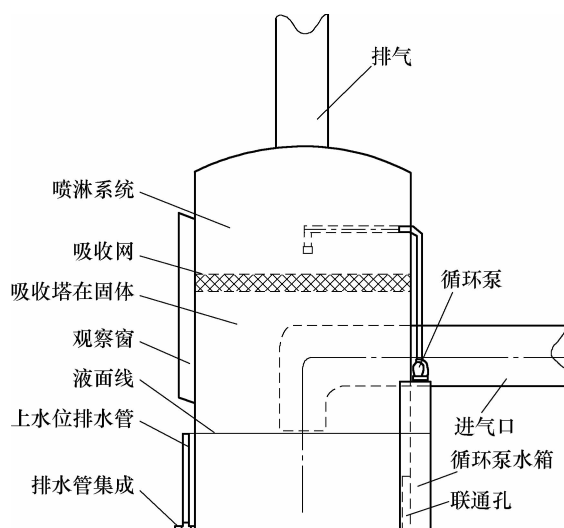


图 A.2 吸收塔内部结构图

附 录 B

（规范性附录）

氰酸根化学分析方法

B.1 试剂

B.1.1 混合指示剂。称量 0.03g 甲基红溶于 50mL 无水乙醇中，以蒸馏水稀释到 100mL；称量 0.015g 亚甲基蓝溶于 15mL 水中。两者分别完全溶解后，混合盛于滴瓶中。

B.1.2 酚酞 0.1%，用 90% 乙醇溶解（如 0.1g 酚酞用 100mL 乙醇溶解）。

B.1.3 甲醛（1∶1）根据试样多少需要配制 500 或 1000mL，配制一次溶液测一次空白值（100mL 甲醛加 100mL 蒸馏水）。

B.1.4 10% NaOH 煮沸过蒸馏水配制（如称量 10g NaOH，用 90mL 煮沸过蒸馏水溶解）。

B.1.5 1mol/L H_2SO_4（如 95% ~98% 浓硫酸 28mL，蒸馏水 472mL）。

B.1.6 0.1mol/L NaOH 溶液的配置和标定。

B.2 分析测定

B.2.1 取样

用 ϕ30mm 左右的不锈钢棒，插入氮化盐浴中 100mm 左右，然后快速提起，待棒周围的盐片脱落后，收集在容器中准备化验。试样在研钵中研细，放入 80 ~ 90℃的烘箱，烘 1h，在干燥器中冷却（新取盐样，立即化验，可以不烘烤）。称取盐样 5g 于小烧杯中，加蒸馏水 50mL，在电炉上加热到全部溶解，取下冷却，移至 250mL 容量瓶中，蒸馏水定容，摇匀，用快速定量滤纸，滤干备用。

B.2.2 测定

用移液管吸取上述溶液 10mL，加蒸馏水 20mL 于 250mL 三角瓶中，加入 5mL（2N）H_2SO_4 溶液，盖上一小漏斗，加热煮沸 2min，取下冷却。加入混合指示剂 2 滴，摇匀，溶液呈紫红色（如呈绿色需要再加 2mL（1mol/L）H_2SO_4 煮沸 2min，溶液仍应呈紫红色），滴加 10% NaOH 中和溶液呈绿色（逐滴加入摇匀）。再逐滴加入 1mol/L H_2SO_4 至溶液转红，以少量蒸馏水吹洗瓶壁，滴加 0.1mol/L NaOH 至恰呈绿色，加入 10mL（1∶1）甲醛溶液，摇匀放置 1min，加入酚酞指示剂 4 滴，

用0.1mol/L NaOH标液滴定，溶液由紫红色—亮绿—再转红，以稳定微红色为终点，记下滴定毫升数 V_1。另取10mL（1∶1）甲醛于250mL三角瓶中，加蒸馏水5mL，加4滴酚酞，用0.1N NaOH标液滴定到微红色为终点，记下滴定毫升数，此为空白值 V_2。

B.2.3　计算

氰酸根离子的含量计算公式如式（A.1）所示：

$$CNO^- = [N \times 0.042 \times (V_1 - V_2)]/G \qquad (B.1)$$

式中　CNO^-——氰酸根离子的含量（质量分数,%）；

N——氢氧化钠标准溶液的摩尔浓度；

V_1——滴定试样和试剂混合液时消耗氢氧化钠标准溶液的体积（mL）；

V_2——滴定试剂时消耗氢氧化钠标准溶液的体积（mL）；

G——测定试样溶液中试样的质量（g）。

B.3　0.1mol/L NaOH标准溶液的配制方法

B.3.1　称取40g NaOH（优级纯）放于1000mL烧杯中，加水400mL溶解，稍冷后用水稀释至1000mL（稀释前加少量 $BaCl_2$），摇匀后保存于塑料瓶中，静置过夜，待 $BaCO_3$ 沉淀，其浓度为1mol/L。吸取此溶液200mL于另一塑料瓶中，用不含 CO_2 的水稀释至2000mL，摇匀，然后标定。

B.3.2　以邻苯二甲酸氢钾标定，准确称取在105℃～110℃下干燥2h并冷却至室温的邻苯二甲酸氢钾（优级纯）0.5g于250mL烧杯中，加不含 CO_2 的水50mL，加酚酞2滴，用配制的0.1mol/L NaOH溶液滴定至溶液呈微红色，并保持0.5min不褪色。

氢氧化钠标准溶液的摩尔浓度 N 按下式计算：

$$N = 0.5/(0.2042V) \qquad (B.2)$$

式中　0.2042——每毫克摩尔邻苯二甲酸氢钾的克数；

V——滴定时消耗氢氧化钠溶液的体积（mL）。

附　录　C

（资料性附录）

常用典型工件盐浴氮碳共渗温度和盐浴氮碳共渗时间

常用典型工件盐浴氮碳共渗温度和氮碳共渗时间见表C.1。

表C.1　常用典型工件盐浴氮碳共渗温度和氮碳共渗时间

工件钢种	代表钢号	前处理	盐浴氮碳共渗温度/℃	盐浴氮碳共渗时间/h
纯铁	YPP12、YPP15	—	560～650	1～3
低碳钢	Q235-B、20、20Cr	—	470～650	1～4
中碳合金钢	45、40Cr、35CrMo	不处理或调质	470～650	1～4
高碳钢	T8、T10、T12	不处理或调质	470～650	1～4
氮化钢	38CrMoAl	调质	560～630	2～5
铸模钢	4Cr5MoSiV1、3Cr2W8V	淬火、回火	560～630	2～4
热模钢	5CrMnMo	淬火、回火	560～630	2～4
冷模钢	Cr12MoV	高温淬火、高温回火	480～520	2～5
高速钢	W6Mo5Cr4V2	淬火、回火	550	5/60～45/60
高速钢	W6Mo5Cr4V2	淬火、回火	560～630	2～3
不锈钢	12Cr13、40Cr13、304、316L、06Cr17Ni12Mo2Ti	调质或固溶	560～630	1～5

（续）

工件钢种	代表钢号	前处理	盐浴氮碳共渗温度/℃	盐浴氮碳共渗时间/h
气门钢	5Cr21Mn9Ti4N	固溶	520～570	1～3
镍基合金	718	—	580	5
沉淀硬化不锈钢	17-4PH	—	580	2～3
铸铁	HT200、QT600-3	—	560～650	1～3

附　录　D
（资料性附录）
各种容量盐浴的推荐通气量

盐浴质量 G/kg	压缩空气流量 Q/（L/min）	盐浴质量 G/kg	压缩空气流量 Q/（L/min）
30	0.95～1.45	200	3.40～5.10
50	1.35～2.05	300	4.50～6.70
100	2.15～3.20	400	5.40～8.10
150	2.85～4.25	500	6.30～9.45

附　录　E
（资料性附录）
QPQ热处理生产过程记录卡

日期		来料单位	
产品名称		材料	
炉号		材料状态	
同炉试样编号		装炉量	
氧碳共渗温度		氮碳共渗时间	
氧化温度		氧化时间	
氰酸根含量		抛光设备	
抛光参数		二次氧化温度	
二次氧化时间		基盐添加量	
再生盐添加量		氧化盐添加量	
氮化炉捞渣		氧化炉捞渣	
外观情况		氮化炉、氧化炉和预热炉炉温校温误差	
备注			

操作者：　　　　　　记录：　　　　　　审核：

第三章　热处理工艺装备标准

第一节　网带炉生产线热处理技术要求

一、概论

1. 标准制定的必要性

网带式热处理炉生产线是国内外热处理行业中的主流生产设备，广泛用于各工业领域中量大面广的标准件、紧固件、五金配件、小型工具、日用五金、餐具，以及电器、家电、汽车、机械制造业中各种产品的中小型零件等热处理。该设备以其使用面广，生产率比较高，操作、维护都比较简单，设备造价也较低等特点而受到欢迎。由于零件小，生产批量往往又很大，一般的网带式热处理炉的工艺重现性较差，因而产品质量不稳定，严重影响产品竞争力和市场。

经过近60年的发展，第一代网带式热处理设备从在氧化气氛下加热发展到第二代的保护气氛少无氧化加热，又进步到第三代的可控气氛加热，第四代计算机管理。我国热处理行业大量拥有的是可控气氛网带式热处理炉生产线，目前国内网带式炉大多数属第三代设备，第四代计算机控制的清洁节能型可控气氛网带式炉已开始推广应用。

为了更好地推动可控气氛网带式热处理炉技术发展和广泛应用，应制定网带炉生产线行业标准，以规范此类装备的设计制造，完善我国热处理标准体系。目前国内可控气氛网带式热处理生产线已超过2000条，全国有600多家公司生产可控气氛网带式热处理炉，数百家热处理加工厂使用可控气氛网带式热处理炉，积累了丰富的生产经验和设备设计制造技术。以广东世创金属科技有限公司为例，已研发和生产了智能型可控气氛网带式热处理炉生产线，并制定了专门的《网带式电阻炉》企业标准，所以，已具备了制定该项行业标准的条件。

2. 国内外标准概况及分析

我国已有JB/T 6206《间接电阻炉 RCW 系列网带式电阻炉》，广东世创金属科技有限公司有企业标准Q/SC 001《网带式电阻炉》，用于规范网带式电阻炉生产线设计和制造。但国内外尚无网带炉生产线，如何才能满足热处理技术要求的标准。本标准提出了对设备的技术要求和可靠性要求、热处理质量控制和检验要求、安全卫生和环保要求，以及节能要求，力求全面总结和概括我国在网带炉生产线热处理设计制造和热处理生产方面的研究成果与生产经验。

3. 标准的创新点

1）标准对网带炉生产线提出了更高的技术要求，在JB/T 6206《间接电阻炉 RCW 系列网带式电阻炉》基础上，提出了平面法测量有效加热区温度均匀性，测温平面均匀性≤±3℃，≤±5℃；明确碳势控制精度应≤±0.1%；提出了淬火槽的使用温度及其波动范围要求。体现了标准的先进性和可操作性。

2）在工艺方面列出了常用的6种典型工艺流程，提出了工艺规范和工艺过程控制要求，还规定了热处理质量控制和检验要点，以保证和提高网带炉生产线热处理质量。

3）从安全卫生和环保方面，对网带炉生产线也提出了要求，要求废水、废液、废气、废渣应收集处理后排放，特别指出炉气和淬火槽油烟必须点燃或无害化处理后排放。

4）给出了网带炉生产线热处理典型工艺的电耗和工艺材料消耗指导值，更好地规范用好网带炉生产线，实现节能减排。

二、标准应用说明

1. 编制原则和主要内容

本标准编制原则：标准应具有先进性、实用性、可操作性，标准内容要全面、系统、简洁、明确。

本标准内容主要包括：

（1）对设备结构和性能要求：包括网带炉生产线的组成、规格型号、维修性等一般要求，渗碳和淬火炉的温度、气氛、密封和保温、淬火槽和冷却装置要求，回火炉的温度、气氛和表面温升要求，以及清洗机、装卸料机构、传动机构和控制方面的要求。突出对炉温均匀性和气氛控制要求，以及符合网带炉生产线特点的装卸料机构、传送机构和控制系统要求。

（2）对可靠性要求：包括生产线故障分类和指标，以及整条生产线及主要设备、部件寿命等。

（3）工艺要求：包括工艺类型、工艺规范、工艺过程控制要求三方面，重点是工艺规范和工艺过程控制要求，既体现了网带炉特色，又注意与其他相关标准的协调一致。

（4）质量控制与检验：质量控制主要按 JB/T 10175 执行。质量检验包括检验项目和要求，以及检验方法，这部分注意采用相关国家标准、行业标准，既具体、又实用。

（5）安全卫生和环保要求主要是贯彻落实 GB 15735 强制标准的要求，补充网带炉热处理特殊的安全卫生和环保要求。

（6）节能要求强调贯彻 GB/Z 18718、GB/T 17538、GB/T 15318 等关于热处理节能的相关标准，并提出网带炉热处理典型电耗和介质消耗的指导值。

2. 标准主要要求的确定

（1）标准中第 1 章范围，是对热处理网带炉生产线的各项要求的概括，这里不包括用于钎焊等其他用途的网带炉。该生产线可能是单台网带炉，也可能是渗碳炉、淬火炉 + 回火炉 + 装卸料机构等组成的复杂生产线，既全面、概括，又明确清晰。

（2）3.1.2 条，网带炉规格型号表示方法比较多，一般有三种：最常见的是以有效网宽、加热区长度及最高加热温度表示；第二种是以额定功率和最高加热温度表示；第三种是机械行业标准中的表示方法，以结构形式、气氛和最高工作温度表示。本标准把上述三种表示方法都列出，符合网带炉目前情况，也便于供需双方签订合同。

（3）3.2.1.2 条和 3.3.1.2 条，有效加热区的炉温均匀性测定明确采用 GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》检测，因为这个标准更符合热处理工艺要求；没有推荐 GB/T 10066.1 和 GB/T 10066.4《电热设备的试验方法》中的规定，因为这两个标准要求较低，又不太符合热处理生产要求。

（4）3.2.1.2 条和 3.3.1.2 条，渗碳淬火炉和回火炉有效加热区炉温均匀性和控温精度要求，是参照 GB/T 16924《钢件的淬火与回火》和 JB/T 3999《钢件的渗碳和碳氮共渗淬火回火处理》相关要求提出的。

（5）3.2.4.6 条，液体淬火冷却介质的使用温度和温度波动范围规定，是参照 GB/T 16924 和 JB/T 3999 相关要求提出的。

（6）3.2.3.4 条，网带炉的表面温升规定是参照 JB/T 6206《间接电阻炉 RCW 系列网带式电阻炉》相关规定提出的。考虑到近几年的技术进步，对炉顶表面温升要求应相应提高，而 JB/T 6206 要求较低，没有列入 3.2.3.4 条。

（7）4.2 条，关于网带炉热处理工艺规范，分别是参照 JB/T 3999《钢件的渗碳》、GB/T 16924《钢件的淬火与回火》、GB/T 16923《钢件的正火与退火》相关要求提出的。

（8）5.1 条质量控制和 6.1 条安全卫生要求，分别按 JB/T 10175《热处理质量控制要求》和 GB 15735《金属热处理生产过程安全卫生要求》的相关规定执行。

（9）标准中第 7 章节能，要求除要贯彻相关国家标准之外，列出了网带炉生产线的典型热处理生产电耗和介质消耗指导值。

（10）本标准对网带炉生产线的可靠性专门单列 1 章（见标准中第 4 章），强调对设备使用的可靠性和寿命指标的要求，针对性强，对该炉型生产厂和使用单位都具有重要指导意义。

3. 贯彻本标准的要求、措施和建议

（1）制定本标准过程中广泛征求各方意见，一方面使标准更具有代表性和权威性，另一方面也是一次宣传，有利于本标准发布后的贯彻实施。

（2）本标准的重要特点是体现先进性，力求与国际先进标准接轨，适应国际合作发展需求，推动国内热处理设备生产厂和热处理加工厂不断提高水平。

（3）网带炉热处理牵涉的面广，技术水平差异大。因此，为贯彻本标准，建议广泛宣传，举办宣贯班，推动本标准的实施。（广东世创金属科技有限公司董小虹、梁先西供稿）

三、标准内容（JB/T 10897—2008）

网带炉生产线热处理　技术要求

1　范围

本标准规定了热处理网带炉生产线的设备要求、工艺要求、质量控制与检验、安全卫生和环保要求以及节能要求。

本标准适用于在可控气氛或自然气氛网带炉中对中、小型工件进行渗碳（含碳氮共渗，下同）、淬火、回火、调质、退火、正火、固溶和时效等热处理。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是标注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 224　钢的脱碳层深度测定方法

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）[GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999，MOD]

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（GB/T 231.1—2004，eqv ISO 6506：1999（E））

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 4341　金属肖氏硬度试验方法（GB/T 4341—2001，eqv JIS Z2246：1992）

GB 5959.1　电热装置的安全　第 1 部分：通用要求（GB/T 5959.1—2005，IEC 60519-1：2003，IDT）

GB 5959.4　电热设备的安全　第四部分：对电阻炉的要求（GB/T 5959.4—1992，eqv IEC 60519-2：1975）

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定法（GB/T 6394—2002，ASTM E112：1996）

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 9451　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定（GB/T 9451—2005，ISO 4970：1979（E），MOD）

GB/T 9452　热处理炉　有效加热区测定方法

GB/T 10066.4　电热设备的试验方法　第4部分：间接电阻炉（GB/T 10066.4—2004，IEC 60397：1994，NEQ）

GB/T 15318　工业热处理电炉节能监测方法

GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 16923　钢件的正火与退火（GB/T 16923—1997，eqv JIS B 6911：1987）

GB/T 16924　钢件的淬火与回火（GB/T 16924—1997，eqv JIS B 6913：1987）

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

GB/Z 18718　热处理节能技术导则

JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火

JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度测试通则

JB/T 6206　间接电阻炉 RCW 系列网带式电阻炉

JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气　一般技术要求

JB/T 7710　薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件　显微组织检测

JB 8434　热处理环境保护技术要求

JB/T 9208　可控气氛分类及代号

JB/T 9209　化学热处理渗剂　技术条件

JB/T 10175　热处理质量控制要求

JB/T 10312　钢箔测定碳势法

JB/T 10457　液态淬火冷却设备　技术条件

3　设备要求

3.1　一般要求

3.1.1　网带炉生产线的组成

网带炉生产线主要由加热炉（包括渗碳、淬火炉和回火炉）、冷却系统、清洗机、装卸料机构、传动系统、气氛系统和控制系统等组成。加热炉可以有炉罐，或无炉罐；可以是贯通式的，也可以是非贯通式的。冷却系统可以是淬火装置或冷却室。淬火装置可以采用油冷、水冷或热浴等冷却方式；冷却室可以是水冷套冷却、风冷或气冷。加热方式一般为电或燃料加热。

3.1.2　规格型号

网带炉的规格型号通常以有效网宽、加热区长度或额定功率及最高加热温度表示；或者按结构形式、采用的气氛和最高温度表示。

3.1.3　维修性

网带炉应具有良好的维修性，方便更换损坏的零件和机构。清渣口、加热元件、气氛入口、网带、热电偶、氧探头、风扇等容易更换，以适应网带炉连续生产的特点。采用计算机控制及管理系统的网带炉一般应具有设备故障自诊断功能。

3.2　渗碳、淬火炉

3.2.1　温度

3.2.1.1　渗碳、淬火炉的最高温度一般为 950℃，不锈钢固溶处理淬火炉的最高温度一般为 1100℃。

3.2.1.2　有效加热区的炉温均匀性和控温精度应根据工件的热处理要求参照表 1 合理选择，渗碳、淬火炉的有效加热区尺寸和位置应在企业标准或合同中注明，有效加热区的炉温均匀性应按 GB/T 9452 的规定测定。

表 1　渗碳、淬火炉炉温均匀性和控温精度要求（不大于）　（单位：℃）

工件类别	炉温均匀性	测温平面均匀性	控温精度
重要件	±10	±3	±1.5
一般件	±15	±5	±5

3.2.2　气氛

3.2.2.1　炉内气氛可以是可控气氛或者自然气氛。可控气氛种类可以分为放热式气氛、吸热式气氛、放热—吸热式气氛、有机液体裂解气氛、氮基气氛、氨制备气氛、氢气和氩气等，根据工件热处理要求参照 JB/T 9208、JB/T 9209、JB/T 7530 规定选择。原料介质和气氛进入炉内应有流量计计量。

3.2.2.2　采用可控气氛的网带炉，根据需要可选配有指示、控制和记录炉气碳势的仪表和相应的传感元件，其仪表的类型和精度原则上应与相应的温度和气氛要求相匹配。当炉内气氛碳势需要调节和控制时，一般采用氧探头碳势控制系统控制，碳势控制精度一般为 ±0.1%C。

3.2.3　密封和保温

3.2.3.1　可控气氛网带炉应有良好密封性，炉膛内压力应保持正压。

3.2.3.2　可控气氛网带炉进出口应设有火帘或气帘等保护措施，以防止炉外空气进入炉内影响炉内气氛和减少炉气损失。

3.2.3.3　网带炉一般采用多区加热和设置循环风扇，以提高炉温均匀性和气氛均匀性。

3.2.3.4　网带炉的表面温升按 GB/T 10066.4 规定测定，应符合表 2 要求。

表 2　表面温升要求　（单位：℃）

炉子部位	炉壳表面	操作手柄或手轮，上料排料区
表面温升	≤25	≤25

3.2.4　冷却系统

3.2.4.1　淬火装置由淬火槽、喷流装置、传送装置、加热和冷却装置、液面监测报警器、淬火液自动补偿装置等组成。淬火槽的容积、结构、加热、冷却和搅拌等要求，可参照 JB/T 10457 液态淬火冷却设备技术条件。

3.2.4.2　淬火槽内应配有淬火介质加热、冷却和循环搅拌系统，淬火冷却介质的温度应自动调节和控制，液体淬火介质的淬火槽应配有液面报警装置，在液面低于警戒位置时应发出声、光报警信号并采取相应措施补充淬火介质。

3.2.4.3　工件通过淬火槽下落通道进入淬火槽，淬火槽应有足够深度以保证工件浸入淬火介质中。对可控气氛网带炉，下落通道两侧一般应设液帘装置，其所形成的液帘应能防止或减少工件淬火时产生的淬火介质蒸汽进入炉内而影响炉内气氛。

3.2.4.4　对可控气氛网带炉、网带的返回通道应与下落通道相连。返回通道的出口处应设火帘和气帘或水封，水封槽中应配置调节水位的装置，以防空气进入炉内。返回通道中应设冷却装置以冷

却网带，网带在离开水槽前应加热烘干。在设计或选型时，为节约能源，应尽可能采用炉内回带。

3.2.4.5　喷流装置一般设有多个喷流口，液面上方喷流口产生液帘，以减少烟气产生；料斗下方喷流口有提高淬火冷却能力的作用。

3.2.4.6　液体淬火介质的使用温度和温度波动范围一般应符合表3规定。

表3　液体淬火介质使用温度和允许的温度波动范围　　（单位：℃）

淬　火　介　质		使用温度	允许温度波动范围
水和无机物水溶液		20～40	±10
有机物水溶液		20～50	±10
油	一般淬火油	20～80	±20
	热油	100～230	±20
热浴	分级淬火	160～400	±20
	等温淬火	220～550	±10

3.2.4.7　对不锈钢固溶处理、淬火、退火及正火工艺用网带炉，在加热炉后需配置冷却装置。不锈钢固溶处理和淬火冷却装置为水套式快冷，退火冷却装置为水套式缓冷，正火冷却装置为吹风或空冷。

3.3　回火炉

3.3.1　温度

3.3.1.1　回火炉按最高工作温度分为三类：650℃、450℃、250℃，可根据工件热处理要求选择。

3.3.1.2　回火炉有效加热区的炉温均匀性应按 GB/T 9452 规定测定，炉温均匀性和控温精度要求参照表4，根据工件热处理要求选择。回火炉有效加热区尺寸和位置应在企业标准或合同中说明。

表4　回火炉炉温均匀性和控温精度要求（不大于）　　（单位：℃）

工件类别	炉温均匀性	控温精度
重要件	±10	±1.5
一般件	±15	±5

3.3.2　气氛

回火炉通常采用自然气氛。高温回火炉为了防止氧化，可以采用氮基气氛或氨制备气氛等。

3.3.3　冷却

为防止产生第二类回火脆性，高温回火炉一般应配置水槽、油槽或采用风冷，用于高温回火后快冷。

3.3.4　表面温升

回火炉表面温升按 GB/T 10066.4 规定测定，应符合表2要求。

3.4　清洗机

3.4.1　网带炉清洗机由清洗槽、传送机构、喷淋系统、清洗液温控装置、风机、吹风装置及油水分离装置等组成，前清洗机一般带吹（烘）干装置，对渗碳和淬火前工件进行清洗和吹（烘）干，后清洗机对淬火后工件进行清洗。

3.4.2　清洗液温控装置由热电阻或热电偶测温，温控仪控温。

3.5　装卸料机构

3.5.1　网带炉可以自动装卸料，也可以手工装卸料。自动上料机设置在网带炉的前端，为网带炉

自动装载待处理工件，主要由提升翻转装置、仓壁振动器及振动送料器等组成。自动卸料机设置在网带炉末端，自动装载和称量处理后工件，并移出生产线，主要由料筐传送机构和称量器等组成。

3.5.2　自动装卸料机构一般应能调节生产节奏，以适应生产周期和产量的变化。

3.5.3　自动装卸料机构必须设置安全防护装置。

3.6　传动系统

3.6.1　网带应由速度可在规定范围内调节的驱动装置驱动，应为网带配备必要的定位和张紧装置。

3.6.2　网带可借助托板、托辊、托架等形式支承。网带支承件应保证在工作温度下，在规定的生产效率下，动作灵活，无卡死和相碰现象。

3.6.3　网带有各种编织方法和钢丝直径，可根据热处理工件的形状、大小、重量合理选择。网带应保证足够的强度和柔性，网眼均匀，保证良好透气均匀性。网带宽度一般指有效网宽。网带所用材质应能保证使用寿命。

3.7　控制系统

3.7.1　加热炉应符合 JB/T 10175 对设备和仪表的要求，设计和制造应符合 JB/T 6206 规定。

3.7.2　每个加热区一般均应配置温度控制、自动记录和报警装置。

3.7.3　控制系统一般应能指示、控制和记录输送速度，使网带运行平稳，速度均匀，并具有防网带蛇形的调整机构。

3.7.4　当网带炉热处理工艺要求较高时，一般应采用计算机控制及管理系统。

4　可靠性要求

4.1　生产线故障分类

生产线故障分类说明见表 5。对于易耗件的正常失效和更换等不视为故障。

——一类故障　在生产中出现的必须停炉检修的故障。

——二类故障　在生产中出现的可在不影响生产的情况下修复的故障。

——三类故障　在生产中出现的，属于元器件质量，安装问题或运行不顺畅，经更换或调整即可解决的故障。

4.2　网带炉生产线可靠性指标

4.2.1　在六个月内不应出现因设计、制造质量原因引起的一类故障。

4.2.2　在三个月内不应出现因设计、制造质量原因引起的二类故障。

4.2.3　在一个月内三类故障不应超过三次。

4.2.4　在正常使用情况下，炉罐、加热元件和网带寿命一般不低于一年。

4.2.5　在正常使用情况下，加热炉炉衬的大修期一般不短于四年。

5　工艺要求

5.1　工艺类型及典型工艺流程

网带炉通常可以进行渗碳、淬火、回火、调质、退火、正火、固溶和时效等热处理工艺。

5.1.1　低碳钢工件渗碳淬火回火工艺流程

前清洗→预热→渗碳→淬火→清洗→回火

5.1.2　中、高碳钢工件淬火回火工艺流程

前清洗→预热→加热→淬火→清洗→回火

5.1.3　奥氏体型不锈钢工件固溶处理流程

预热→加热→水套式快冷或其他方式快冷→缓冷

5.1.4　马氏体型不锈钢工件淬火回火工艺流程

预热→加热→水套式快冷或其他方式快冷→回火（时效）

5.1.5 退火工艺流程

预热→加热→水套式缓冷或其他方式缓冷

5.1.6 正火工艺流程

预热→加热→风冷

5.2 工艺规范

5.2.1 根据工件的特征（材料牌号、处理前的状态、形状和尺寸及后续加工工序等）、热处理目的、批量及设备条件等，制订合理的热处理工艺。渗碳工艺规范参照 JB/T 3999 规定，淬火和回火工艺规范参照 GB/T 16924 规定，正火和退火工艺规范参照 GB/T 16923 规定。网带炉热处理加热和保温时间以带速和有效加热区长度计算。时间控制精度一般为 ±2min。

5.2.2 根据工件材质、热处理工艺特点和质量要求等，按 JB/T 3999、GB/T 16924、GB/T 16923 规定，合理确定加热炉有效加热区的温度均匀性和控温精度要求。

5.3 工艺过程要求

5.3.1 工件

5.3.1.1 工件材料的化学成分等要求应符合有关标准规定。

5.3.1.2 工件状态（材料的原始组织和性能指标、毛坯制造方法、加工方法、热处理前的预备热处理等）应符合验收要求。

5.3.1.3 工件形状、尺寸、数量应符合技术要求和任务书要求，外观无裂纹、伤痕、锈斑等缺陷。

5.3.2 清洗

入炉前对工件进行清理和清洗，去除油污、污物、切屑等污染物，并应吹（烘）干。清洗过程不能对工件表面产生有害影响。

5.3.3 装料

5.3.3.1 工件应均匀布放在网带上，并使炉气循环畅通。装料应保证加热时工件处于有效加热区范围内，不得超过有效网带宽度。

5.3.3.2 渗碳工件的渗碳面应设法减少互相接触。

5.3.4 渗碳

5.3.4.1 渗碳加热设备应符合 3.1 和 3.2 规定。

5.3.4.2 根据工件材料、技术要求、生产批量等合理选择渗碳炉各区的温度、碳势和带速等参数。

5.3.4.3 通过对先期试件的检查和定碳试样抽查，确定渗碳工艺参数和过程控制。定碳试件碳势检查按 JB/T 10312 规定进行。

5.3.4.4 通过核验试样修正渗碳工艺参数和过程控制。

5.3.5 淬火

5.3.5.1 淬火加热和冷却设备应符合 3.1 和 3.2 规定。

5.3.5.2 根据工件材料、技术要求、生产批量等合理选择淬火炉各区的温度、碳势和带速等参数。

5.3.5.3 通过先期试件和核验试样检查，确定和调整淬火加热工艺参数。

5.3.5.4 工件在淬火和淬火后提升时可能会引起互相磕碰，应注意工件在网带上的布放、淬火下落方式和下落速度等，防止工件碰伤和减少畸变，淬火后工件应光亮，表面颜色基本均匀一致。

5.3.5.5 渗碳后直接淬火时，要注意控制冷却过程，保证工件温度完全达到淬火规定温度后淬火。

5.3.6 回火

5.3.6.1 回火加热设备应符合 3.1 和 3.3 规定。

5.3.6.2 淬火后应及时回火。

5.3.6.3　回火操作应严格按回火工艺规范执行。

5.3.6.4　淬火后直接连续回火时，由于无法合理摆放，回火保温时间应适当增加。

5.3.7　过程执行情况记录

对温度、时间、碳势等工艺参数应按规定作必要记录，并予以保存，必要时应得到有关人员的确认。

6　质量控制与检验

6.1　质量控制

热处理质量控制按 JB/T 10175 规定执行。

6.2　质量检验

6.2.1　外观

工件表面应无裂纹、伤痕及锈斑，表面质量满足产品和后续工序的要求。

6.2.2　硬度

表面硬度和心部硬度应符合图样要求，其偏差值应符合 JB/T 3999、GB/T 16924、GB/T 16923 规定。

硬度的测量按 GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、JB/T 6050 规定进行。

6.2.3　硬化层深度

硬化层深度应符合图样要求，其偏差值应符合 JB/T 3999 规定。硬化层深度的测定方法按 GB/T 9450 和 GB/T 9451 规定进行。

6.2.4　金相组织

金相组织应达到工件所要求的正常组织。

晶粒度的测定按 GB/T 6394 规定进行，表面脱碳的测定按 GB/T 224 规定进行，薄层渗碳金相组织的检测按 JB/T 7710 规定进行，其他金相组织的检验参照有关标准。

6.2.5　畸变

畸变应符合图样或技术条件要求。

6.2.6　其他

根据产品要求，可做拉伸、弯曲、冲击、扭转、耐蚀性等项目的检测。

7　安全卫生和环保要求

7.1　安全卫生要求按 GB 15735 和 GB 5959.1、GB 5959.4 和 JB 8434 规定执行。网带炉热处理生产中产生的废水、废液、废气、废渣等应采取措施收集和处理，不得对环境造成不良影响。

7.2　网带炉产生的废气及淬火槽的油烟应经燃烧或适当处理后排放。

7.3　清洗机必须设有油水分离装置，以保证清洗油污分离和回收。

7.4　所有机械传动裸露部分和电器接头裸露部分均应安装防护罩，并保证通风良好。

7.5　设备发生故障或工艺参数偏离时，应发出声光报警，并应及时排除故障。

7.6　生产过程中发生停电、停水、停气等意外事故时，设备应有相应的安全措施，以保护人员、设备和工件的安全。

7.7　在所有可能造成人员伤害的地方设置警告牌。

7.8　化学危险品应存放在专用库房中，设置明显警示标牌，并妥善保管和安全使用。

8　节能要求

8.1　网带炉热处理生产应按 GB/Z 18718 节能措施的规定执行。

8.2　网带炉热处理生产电耗应符合 GB/T 17358 和 GB/T 15318 规定。网带炉生产线的典型热处理生产的电耗和介质消耗指导值如表 5 所示。

表5 网带炉生产线典型热处理生产电耗和介质消耗量指导值

典型热处理工艺	电耗/(kW·h/kg)	介质消耗量	
		甲醇/(L/h)	液化石油气/(m^3/h)
薄层渗碳淬火回火	≤0.55	≤8	≤2.4
淬火回火	≤0.48	≤8	—

注：上述指导值是按如下生产条件给出的：①薄层渗碳淬火回火：采用810型网带炉生产线对20钢小工件进行薄层渗碳（渗层厚度≤0.30mm，炉气碳势1.15%C，直接淬油，低温回火）。②淬火回火：采用810型网带炉生产线对50钢小工件进行淬火和中温回火。

第二节 液态淬火冷却设备技术条件

一、概论

由于冷却介质、冷却方式和冷却设备的多样性，用一项标准规定对所有设备的技术要求是不容易的，而且会使标准内容变得非常冗杂，难于贯彻。液态淬火是生产中应用最多的方法，因此本标准定名为《液态淬火冷却设备技术条件》。

一般热处理包括加热和冷却两个基本过程。冷却对于热处理工件质量至关重要。冷却不当不仅会影响产品质量，甚至会使工件严重畸变、开裂而报废。影响金属的淬火冷却效果的因素有冷却介质、介质的温度和浓度、所含的杂质、搅拌程度、淬冷设备满足淬火冷却要求的程度等。

过去，人们对于淬冷设备的重视程度远不及加热设备。近30年来，大家对热处理冷却的重要性认识逐步提高，开发出了许多新淬火冷却介质、淬冷方式和淬冷设备。在淬火冷却介质研发的突出成就中首推各种聚合物溶液，不少此类介质可以在一定程度上代替油。在淬火冷却方式上也出现了许多革新，诸如在油或熔盐中的等温分级淬火、流态床淬火、喷雾淬火、气冷淬火和高压气体淬火、在各种压床上的加压淬火等。特别是喷雾淬火通过气液量、压力和液体雾化程度的调节，可使冷却速度在很大范围内变化，利用这些参数的精确控制，可以控制工件不同阶段的冷速，从而达到控制冷却效果的目的。气体冷却，尤其是真空加热在惰性气体中的高压气淬可以达到油淬效果，工件表面保持光亮，且可免去回火前的清洗工序。

二、标准应用说明

液态介质淬火冷却设备是多种多样的。按生产批量、工件尺寸、工艺类型、生产自动化程度、介质种类的差别，采用的淬火冷却设备各有所不同。对于单件小批量生产，可采用简易的循环水槽或油槽；对于大批量连续性生产，要考虑控制淬火冷却介质温度的加热、冷却和搅拌设施；对于自动化生产线上的淬火设备，要考虑足够的容积和强烈的循环系统。对于油槽，特别是等温和分级淬火油槽，必须考虑有效的安全灭火防爆措施。在聚合物介质和等温分级淬火槽上，必须配备精确的温度控制系统和良好的介质搅拌条件。在盐、碱等无机溶液淬火槽和淬火液循环系统中，还必须设法避免介质对液槽和管路的腐蚀。本标准针对这些特点，分门别类地提出了必要的技术条件。

本标准还按照液态淬火设备结构的各组成部分、作用、工况、选择出发点等提出了一系列原则性要求，并在零配件规格的选定方面列出了相应的计算方法、图表。这些都有助于标准的使用者在研制、开发、改进类似设备时参考。为了简化标准正式条文，又能对条文作必要的补充，在标准的后面设了附录，罗列了各种冷却设备的典型结构。（北京机电研究所樊东黎、王晓明供稿）

三、标准内容（JB/T 10457—2004）

液态淬火冷却设备技术条件

1　范围

本标准规定了金属合金制件在液态介质中实行淬火冷却设备的技术条件。

本标准适用于铁和非铁合金淬火和固溶处理冷却用的水、油、无机盐、碱水溶液、有机聚合物水溶液等的浸入式冷却设备。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232　金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求

JB/T 4392　有机物水溶性淬火介质性能测定方法

JB/T 4393　聚乙烯醇合成淬火剂

JB/T 6955　热处理常用淬火介质技术要求

JB/T 7951　淬火介质冷却性能试验方法

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121、GB/T 13324 中确定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　聚合物淬火剂　polymer quenchants

聚乙烯醇（PVA）、聚烷撑二醇（PAG）、聚丙烯酸钠（PSA）、聚乙基噁唑啉（PEOX）等聚合物不同浓度水溶液的冷却性能介于水、油之间，用于铁合金的淬火和非铁合金的固溶冷却，具有冷却性能可调、冷却均匀、不燃烧、不污染环境和工件防锈的优点，在一定程度上可代替油作为淬火剂。

3.2　集（储）液槽　liquid container

在淬火剂的冷却、过滤循环系统中用来集中储存液体的大型容器。

3.3　溢流槽　overflow tank

工件投入淬火槽后液面上升，流入相邻的与淬火槽以隔板分开的容器。取出工件后，液面下降，用泵把溢流槽内的液体重新打入淬火槽，以维持原先的液面。

4　基本要求

4.1　冷却设备应能容纳足以吸收加热工件热量的液态介质。

4.2　生产过程中淬火液温度应保持在规定范围。

4.3　选用的淬火液应满足待处理件的冷速要求，达到淬硬或完全固溶效果。

4.4　淬冷设备中的设施应保证液态介质对工件的均匀冷却，以达到工件少畸变、不开裂效果。

4.5　在批量生产条件下，淬冷设备应具有一定的机械化或自动化程度，以减轻工人劳动强度和减少人为失误。

4.6　用油淬冷时，设备应有可靠的安全、防火设施和有效的排烟、无害化处理排放系统。

5　一般液态淬火冷却设备技术条件

5.1　淬火冷却系统的组成

一个完整的淬火冷却系统通常应包括下列设施和组成部分：淬火冷却槽或淬火机床；移动淬火工件的装置；淬火冷却介质（其相关的技术要求及检测方法应符合 JB/T 4392、JB/T 4393、JB/T 6955、JB/T 7951）；搅动装置；冷却器；加热器；泵、排水器或过滤器；供给淬火剂的集液槽；通风设备；安全防火设施和除去槽中氧化皮的装置。

5.2　淬火槽

5.2.1　淬火槽容积按装炉量（包括工件料盘、料筐、挂具、夹具等）和工件加热温度来选择，一般每千克装炉量需 10～15L 介质。

5.2.2　普通淬火油工作温度范围一般是 40～80℃，盐、碱水溶液和聚合物水溶液工作温度范围是 20～40℃，淬火后温升不得超过上限 5℃。为此淬火槽应设温度测量控制系统。

5.2.3　盐、碱等水溶液有腐蚀性，淬火槽应用防腐金属材料制作。铜会加剧淬火油的老化，因此淬火油槽中尽量避免有铜件。

5.2.4　淬火槽通常由两部分组成：淬火槽和溢流槽，中间用低于槽外缘的隔板隔开。当工件淬入，液面升高溢入溢流槽。取出工件，液面下降，再用泵（一般用 20L/min 的水泵）把淬火液打回淬火槽，使槽内液面保持规定高度。

5.3　移动淬火工件的装置

5.3.1　在静止液态淬火槽或淬火液流速较低的淬火槽中，为提高冷速和冷却的均匀度，槽内应设可使工件或料筐上下运动的机构。

5.3.2　在网带炉、输送带炉和震底炉等连续式生产线上淬火槽内应设传送和提升散置工件的输送带。

5.3.3　在密封多用炉和推杆式连续炉的淬火槽中，应设可使料盘升降和进出的装置。

5.4　淬火介质

5.4.1　可根据工件尺寸和心部要求硬度以及工件钢材端淬曲线相同硬度的位置在格罗斯曼（Grossmann）图（见图 1）上找到所需的介质淬冷烈度 *H* 值。

5.4.2　根据选出的淬冷烈度，按表 1 查到与此相适应的淬火介质和冷却条件。

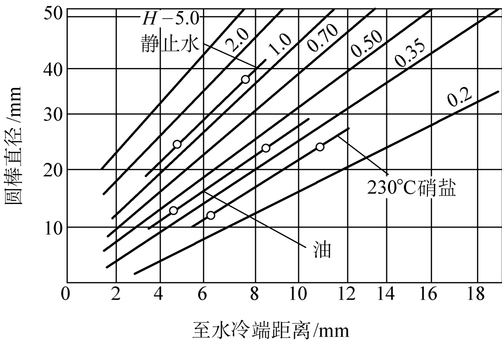


图 1　钢件直径、淬透性和淬冷烈度的 Grossmann 图

表 1　常用淬火剂淬冷烈度 *H* 值

搅动情况	矿物油	水	盐水
静止	0.25～0.30	0.9～1.0	2.0
弱搅动	0.30～0.35	1.0～1.1	2.0～2.2
中等搅动	0.35～0.40	1.2～1.3	—
良好搅动	0.40～0.50	1.4～1.5	—
强搅动	0.50～0.80	1.6～2.0	—
猛烈搅动或高速喷射	0.80～1.10	4.0	5.0

5.4.3　选择介质举例

a）ϕ25mm 钢棒心部要求淬硬到 45HRC，查该钢种的淬透性曲线，45HRC 硬度处在距端面 8mm 处。按此在图 1 上查到 ϕ25mm 钢棒与 8mm 端淬试棒距离的交点在 $H=0.5$ 的线上。由表 1 可查出 ϕ25mm 钢棒在充分搅拌的油中淬火，心部可达到 45HRC 的硬度要求。

b）ϕ25mm 钢棒心部硬度要求为 48HRC，如果从该钢种的淬透性曲线上查到端淬试棒 48HRC 处的距端面距离是 6mm，则由图 1 可查到淬冷烈度 $H=0.7$，即应在强烈搅拌的油中淬火。

5.5　搅动系统

5.5.1　单件、小件小批量连续生产可采取自槽外容器泵入槽中淬火液的循环方式，小件靠重力坠入淬火槽，稍大的单件以人工或起重机构在槽内移动方式搅拌。

5.5.2　小批量和大批量以料盘装料方式间隙地施行淬火时，为加速冷却和使工件冷却均匀应使用螺旋桨搅拌。根据生产批量和槽液容积可选用单向（单桨）或双向（双桨）搅拌。

5.6　冷却器

5.6.1　在小型淬火槽内设蛇形管或螺旋管，于管中通冷水冷却使介质温度不超过规定温度。

5.6.2　淬火油槽可使用列管式、板式、螺旋板式、复波伞式或风冷式冷却器。

5.6.3　使用循环水的大型淬火水槽可使用塔式冷却器。

5.6.4　多组或大型淬火冷却油槽可配备设集液槽的油冷却循环系统。

5.7　加热器

5.7.1　水在 15～25℃可保持稳定的淬火效果，而盐水在≤40℃的情况下可保持稳定的淬火效果。冬季初次使用应把介质升到此温度范围。为此可用通蒸汽或热水的槽内蛇形管加热。

5.7.2　油的最高工作温度必须低于油的闪点 50℃。普通淬火油的理想工作温度应为 50～80℃。温度过低易增加工件畸变；温度过高不安全。为此初次用冷油淬火时应该用槽内的管状电热器将油温加热到 50℃以上。管状加热器的负载率应 $<1.5\mathrm{W/cm^2}$，以防止淬火油局部过热而迅速老化。

5.7.3　聚合物水溶性淬火介质的正常使用温度范围是 20～35℃。在冬季环境温度 <10℃时，槽液应适当加热至 20～35℃。为此可采用在液槽中蛇形管内通热水、蒸汽或燃烧炉烟道热气。

5.8　泵、排水器和过滤器

5.8.1　大型淬火槽中的水、油和聚合物水溶液淬火剂必须循环使用。在循环系统中应包括储液槽、冷却器、泵和过滤器等。

5.8.2　水及水溶液多用 300～600kPa 工作压力的离心水泵。盐水、苛性钠水溶液应选用塑料泵或耐蚀泵。油冷却系统可选用齿轮泵或离心油泵。

5.8.3　选择泵的主要依据是：流量、扬程、吸程和安装高度。一般泵不宜用于热液的输送，因此大多安装在冷却器的后面。

5.8.4　过滤器安装在集液槽和泵之间，用于隔离氧化皮、盐渣等物，使其不返回淬火槽，并定期清理，以保护泵和热交换器。

5.8.5　通常多选用双筒式网状过滤器，当一个过滤筒在清理时，另一个在工作。不宜用过密的过滤网，以免管道迅速堵塞，一般用 0.5mm×0.5mm 网孔的过滤网即可。

5.8.6　在淬火油槽和集油槽下部应有排水管路和阀门，以备淬火油中进水沉入底部排放。

5.9　供给淬火液的集液槽

5.9.1　集液槽通常是由钢板焊成的立方形或圆筒形槽体。其内部用隔板隔成 2 或 3 个部分，分别用作存液、沉淀和备用。集液槽也兼有事故放油作用。

5.9.2　集液槽容积应大于全部淬火槽和冷却系统淬火液容量的总和。集油槽一般需比淬火液容量大 30%～40%，对水和水溶性介质要加大 20%～30%。

5.9.3 集液槽内隔板高度约为槽高的四分之三。槽上设进油和放油孔，以便维修。进油管须插到液面以下，吸油管应插到距槽底部100mm处，末端加过滤网。槽内应设测液面高度的标尺和紧急放油阀门。

5.10 抽风装置

5.10.1 抽风装置的作用是迅速排除工件淬火时油槽表面挥发的油烟，以改善工作场地和车间的环境，保证操作人员的健康。碱水、等温分级淬火的热浴也都需设强迫抽风系统。

5.10.2 抽风系统可选择顶抽或侧抽两种类型。中、小件盐浴加热手工操作时可采取顶抽。大件或整筐工件须采取吊装淬火方式时应选择单侧（较小型槽）或双侧（大型槽）抽风。

5.10.3 淬火油槽抽风量 V 按下式计算。

$$V = 3600Av_1$$

式中 V——淬火油槽抽风量（m^3/h）；

A——油槽口面积（m^2）；

v_1——油槽口吸入气体流速（m/s），一般取1m/s。

5.10.4 排气罩出口直径 d 按下式计算：

$$d = \sqrt{\frac{V}{900\pi v_2}}$$

式中 d——排气罩出口直径（m）；

V——淬火油槽抽风量（m^3/h）；

v_2——排气口气流速度（m/s），一般取6~8m/s。

5.10.5 通风口穿过房顶，其高度应高出周围100m直径范围内最高建筑物3m。

5.11 安全防火设施

5.11.1 主要是针对淬火油槽。淬火油槽使用不当很容易燃烧起火，因此必须采取有效防火措施。

5.11.2 油槽应设有冷却系统以控制油温，使其不超过油闪点以下50℃的温度。

5.11.3 油槽燃烧起火时把油迅速排放到距油槽较远的集油槽是安全的措施。

5.11.4 小型油槽应设二氧化碳隔绝油面空气的灭火装置。也可使用泡沫和化学灭火剂以及高压氮+碳酸氢钠灭火剂。切忌用水灭火，干粉灭火剂会污染油槽。

5.11.5 工件淬火过程中对油的充分搅动可避免油的局部过热，减少起火的危险。

5.11.6 在100℃以上使用的分级淬火油槽切忌有水。水会使油在加热时形成泡沫，极易起火，含水量大时，加热油还会突然形成大量蒸汽，引起爆炸。因此新油要在100℃（水的沸点）稍高温度保持，以除去油中水分。

5.12 除去淬火槽氧化皮的装置

通常采用槽底大口径管和阀门定期（一般每月一次）排出淬火剂，并清理槽底。淬火剂经过滤后再注入淬火槽。

6 等温分级淬火设备技术条件

6.1 马氏体分级淬火介质

6.1.1 在95~230℃进行钢的马氏体分级淬火时，可用热油作淬火介质。热油工作温度不得超过油的闪点 $t_{闪}-50℃$。油面须用气氛保护，以防其快速老化。

6.1.2 在160~400℃的马氏体分级淬火时，可使用50%~60% KNO_3 +37%~50% $NaNO_2$ +0~10% $NaNO_3$ 熔盐。添加1.25%水在205℃的熔盐中，具有与50℃油同样的冷速。

6.2 贝氏体等温淬火介质

6.2.1 可用加热到260~400℃的熔盐进行钢的贝氏体等温淬火。

6.2.2　钢的贝氏体等温淬火可用表 2 所列的硝酸盐和亚硝酸盐混合盐。盐浴中加少量水可显著提高淬火烈度。

表 2　贝氏体等温淬火用盐

等温盐	化学组成（质量分数,%）			熔点/℃	工作温度/℃
	$NaNO_3$	KNO_3	$NaNO_2$		
低熔点	15～25	45～55	25～35	150～165	175～540
高熔点	45～55	45～55	—	220	260～550

6.3　等温和分级淬火冷却设备技术条件

6.3.1　可用管式电阻加热器加热分级淬火油槽。油的最高工作温度不得超过 230℃。油温的波动范围不得超过 ±3℃。

6.3.2　被加热到 160～400℃的硝盐浴用于马氏体分级淬火，可采用坩埚外热式或内热式电阻加热方式。盐浴温度的波动必须控制在 ±3℃。

6.3.3　等温淬火槽的介质只能是盐浴，盐浴的工作温度按钢种和组织性能要求确定，通常为 260～580℃，可用坩埚外热式或内热式电阻加热方式。盐浴温度波动必须控制在 ±6℃范围。

6.3.4　等温和分级淬火槽在工件淬入时的温度升高主要靠浴槽与周围环境的自然热交换来实现。因此液槽的外壁经常设增大散热片。同时槽内应装内通水冷却的蛇形管，以保证盐浴温度波动在要求范围内。

6.3.5　为使等温分级淬火槽内的温度均匀和工件淬入时可获得均匀散热条件，槽内尚需设螺旋桨搅拌器。螺旋桨轴线通常和盐面呈 30～60°，目的是使整槽盐充分搅拌和工件热量充分交换。

6.3.6　硝盐浴最高使用温度不得超过 595℃。表面带油和融氰盐、碳粉工件绝不可入硝盐浴，否则会发生爆炸。潮湿工件入浴也会造成盐水飞溅伤人。其他安全注意事项可按 GB 15735 执行。

附　录　A

（资料性附录）

液态冷却设备典型结构

A.1　淬火槽常用溢流方式（图 A.1）

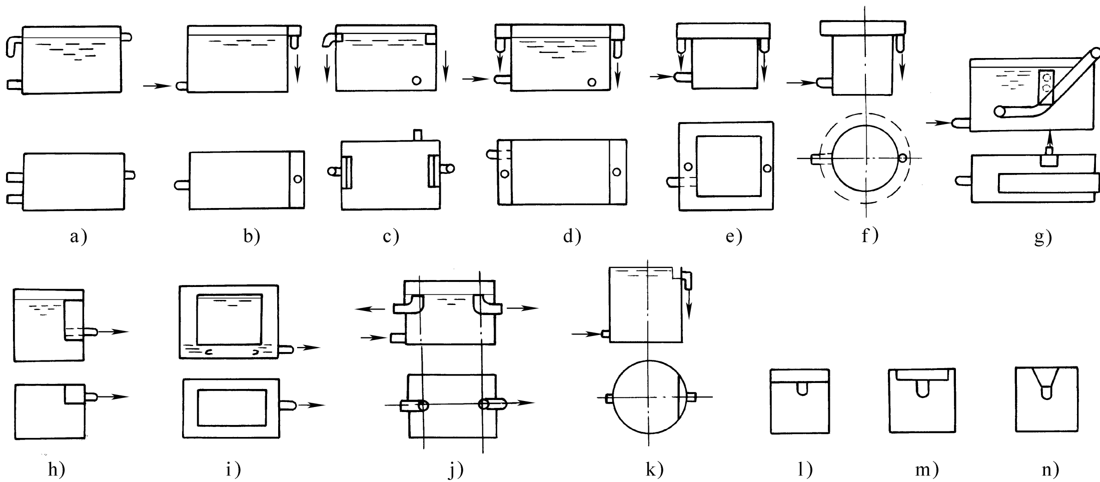


图 A.1　淬火槽常用溢流方式

A.2 淬火介质冷却方法（图 A.2、表 A.1）

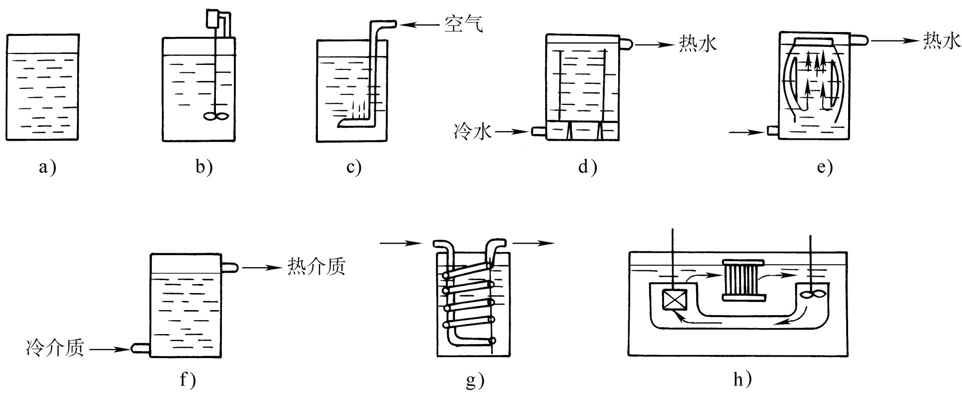


图 A.2 淬火介质冷却方法

表 A.1 淬火介质冷却方法说明

溢流方式（图 A2 中的方法代号）	特点	效果
a	介质自然冷却	冷却效果差，3～5℃/h
b	搅拌冷却	主要是搅拌，冷却效果差
c	吹压缩空气	冷却效果好，易起泡，工件易有软点
d、e	用冷却水套	冷却尚可，仅适用于小型槽
f	介质循环冷却	冷却效果好，但系统复杂
g	槽内蛇形管	效果尚可，适用于小型槽，易漏水污染油
h	用热交换器循环冷却	兼有冷却和搅动效果，结构复杂

A.3 淬火剂搅动和工件摆动装置（图 A.3、图 A.4）

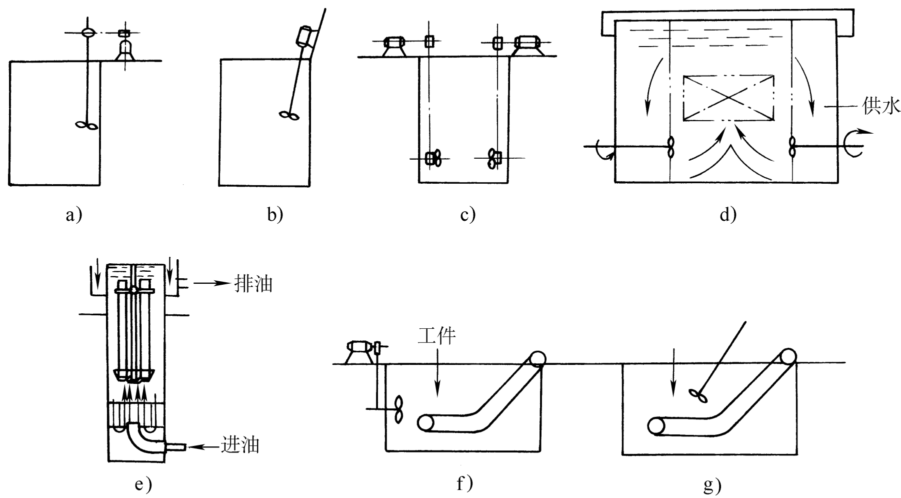


图 A.3 淬火槽的搅动装置

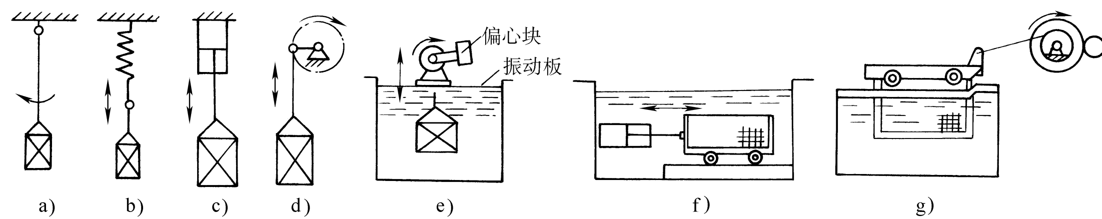


图 A.4　淬火槽的摆动装置

A.4　搅拌器（图 A.5、表 A.2、表 A.3）

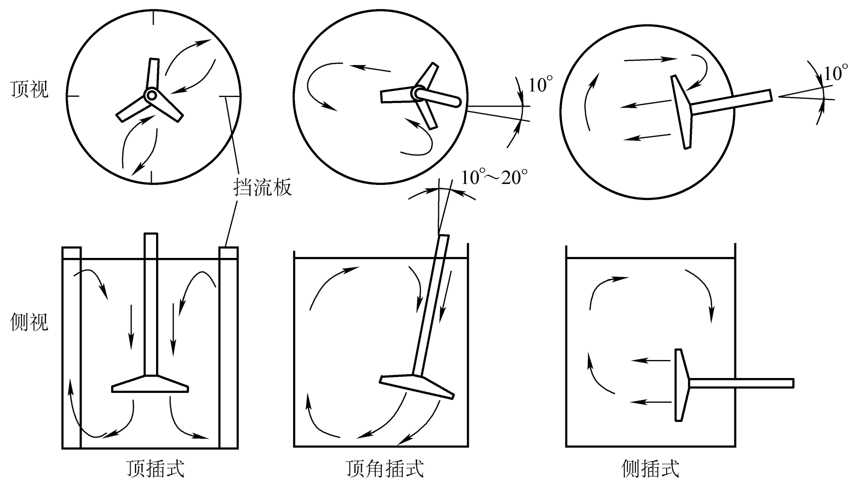


图 A.5　淬火槽内液流方向与安置螺旋桨方式的关系

表 A.2　三叶片螺旋桨的功率

淬火槽容积/L	要求功率/(kW/L)		淬火槽容积/L	要求功率/(kW/L)	
	标准淬火油	水或盐水		标准淬火油	水或盐水
2000 ~ 3200	0.001	0.0008	8000 ~ 12000	0.0012	0.001
3200 ~ 8000	0.0012	0.0008	>12000	0.0014	0.001

注:螺旋桨的转速为 420r/min,船舶螺旋桨螺距直径比为 1.0,速度为 15 ~ 20m/min。

表 A.3　螺旋桨搅拌器尺寸

电动机功率/kW	螺旋桨直径/cm	电动机功率/kW	螺旋桨直径/cm
0.19	33.0	3.73	61.0
0.25	35.6	5.59	66.0
0.37	38.1	7.46	71.1
0.56	40.6	11.19	76.2
0.75	43.2	14.92	81.3
1.49	50.8	18.65	83.8
2.34	55.9		

注：1. 按转速 280r/min，介质密度 1.0，翼形桨 N_p = 0.33 计算（翼形和船舶桨功率数相同）。

2. 轴功率等于电动机功率的 80%。

3. 开式螺旋桨在 280r/min 的功率要求。

4. 采用导流管时，螺旋桨直径减少 3%。

A.5　典型淬火设备举例

A.5.1　普通间隙作业式淬火槽（图 A.6）

A.5.2　密封多用炉和连续推杆炉用淬火油槽（图 A.7）

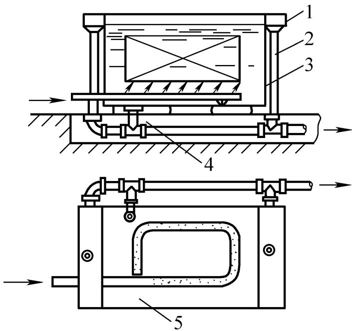


图 A.6　普通型间隙作业淬火槽

1—溢流槽　2—排出管　3—淬火槽

4—事故排出管　5—供入管

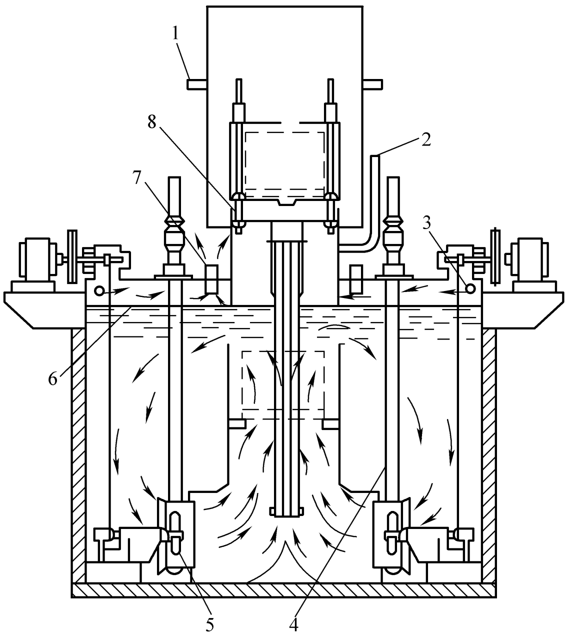


图 A.7　密封渗碳炉用淬火油槽

1—炉子出料口进气孔　2—出料槽排气孔　3—进气口

4—发热体　5—螺旋桨　6—油面高度　7—出气孔

8—淬火提升机构

A.5.3　网带炉、震底炉、链板炉等连续生产线用淬火槽（图 A.8）

A.5.4　独立的介质冷却循环系统（图 A.9）

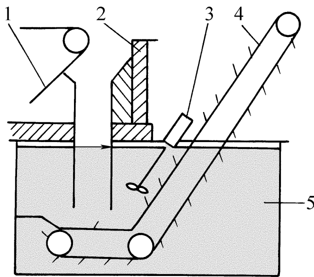


图 A.8　连续生产线用淬火槽

1—网带　2—加热炉　3—搅拌器

4—倾斜钢带　5—淬火槽

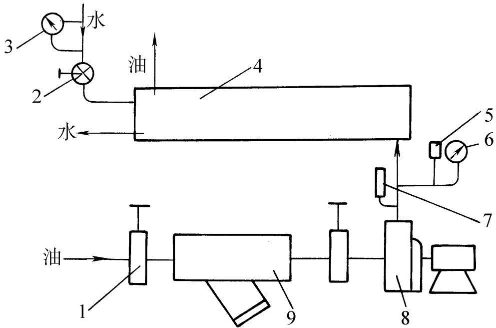


图 A.9　独立的介质冷却循环系统

1—闸阀　2—球阀　3—压力表　4—冷却器

5—控制继电器　6—压力表　7—温度控制表

8—泵　9—过滤器

A.5.5　设集液槽的油冷却循环系统（图 A.10）

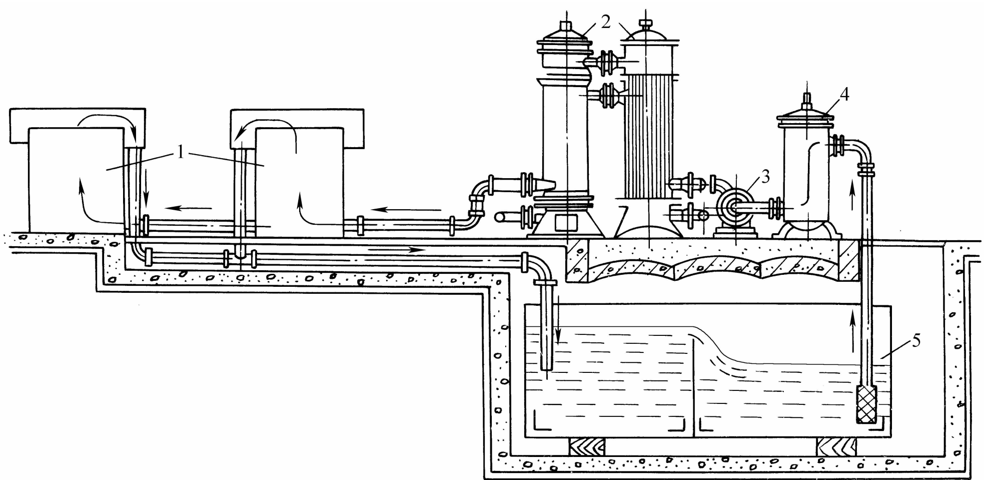


图 A. 10　设集液槽的油冷却循环系统

1—淬火槽　2—换热器　3—液压泵　4—过滤器　5—集液槽

A. 5. 6　不设集液槽的油冷却循环系统（图 A. 11）

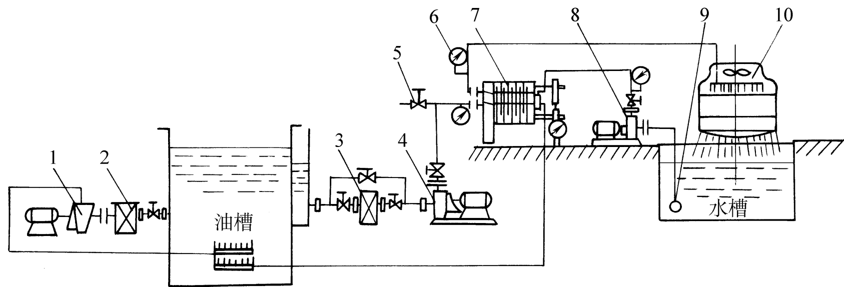
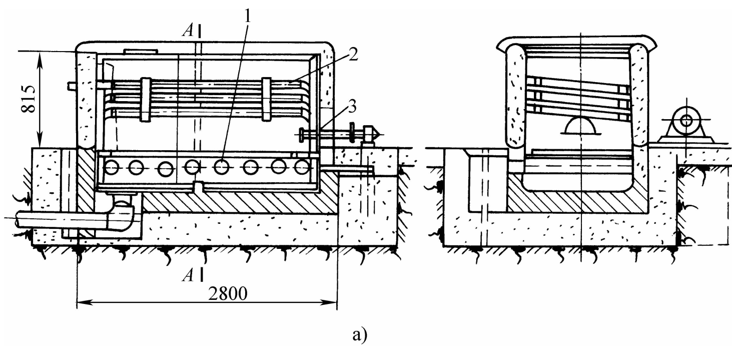


图 A. 11　不设集液槽的油冷却循环系统

1、4—液压泵　2、3—过滤器　5—阀门　6—压力表　7—换热器

8—水泵　9—底阀　10—冷却水塔

A. 5. 7　等温分级淬火槽（图 A. 12）



a)

图 A. 12　等温分级淬火槽

a）分级淬火油槽

1—管状电热器　2—盐循环管　3—泵传动系统

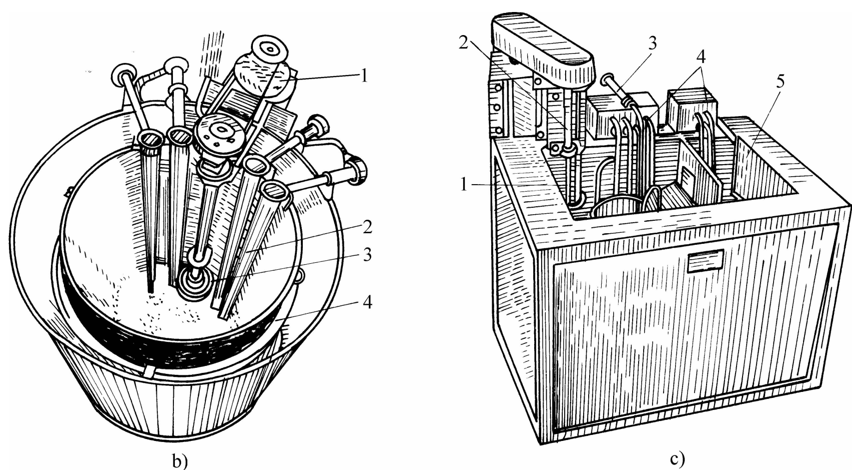


图 A.12 等温分级淬火槽（续）

b）硝盐等温分级淬火槽 1—泵传动系统 2—管状电热器 3—盐循环管 4—冷却蛇形管

c）带清理室的盐槽 1—工作腔 2—泵传动系统 3—热电偶 4—加热器 5—清理室

第三节 推杆式可控气氛渗碳线热处理技术要求

一、概论

20 世纪 30 年代，第一条无罐气体渗碳炉组成的可控气氛渗碳线诞生，由于其高效率、自动化、产品质量稳定等优点，在 20 世纪 40 年代得到迅速推广，广泛用于汽车、拖拉机以及轴承等行业零部件的渗碳热处理。后期由于吸热式气氛制备技术的成熟，进而逐步取代井式、箱式及铸链式渗碳炉成为用于大批量渗碳零部件生产的“主力军”，并逐步演变成今天这样功能齐全、控制精确且自动化程度高的推杆式可控气氛渗碳线，并且不断衍生出多种不同组合形式，如直通式、分段式等，甚至还有与其他炉型相组合的柔性生产线。这些都是从不同需求出发而派生出来的，各有优缺点。

随着可控气氛热处理技术的迅速发展，如今它已成为现代热处理应用最为广泛的工艺之一。我国吸热式可控气氛热处理在工艺和装备水平上，与发达国家相比存在着较大的差距，在炉温和碳势控制、质量检验、节能环保和安全等方面缺乏相关标准。因此，需要制定推杆式可控气氛渗碳线热处理技术要求，以指导实际生产，提高热处理质量。

二、标准应用说明

推杆式可控气氛渗碳线适用于少品种、大批量生产，有节能高效，产品质量稳定的效果。JB/T 10896—2008《推杆式可控气氛渗碳线热处理　技术要求》主要是针对汽车、拖拉机以及轴承等行业的情况制定的。本标准从渗碳热处理的角度出发，以保证产品质量的基本要求和节能、环保、安全等方面的要求为主，并针对目前存在的实际问题而提出技术指标和要求，不涉及设备的具体结构。对必须涉及的设备结构问题，本标准只做原则性规定，以适应各种具体情况。而作为节能、环保、安全的需要又必须达到的要求，则规定了具体指标，从而促进可控气氛渗碳技术不断发展。

根据零件的材料和技术要求，渗碳线可设计成如下几种不同的工艺流程：

1）预氧化—加热—渗碳—扩散—预冷—直接淬火—清洗—回火。

2）预氧化—加热—渗碳—扩散—预冷—压床淬火—清洗—回火。

3）预氧化—加热—渗碳—扩散—缓冷。

4）预氧化—加热—渗碳—扩散—预冷—（直接淬火 / 压床淬火）—清洗—回火。

5）预氧化—加热—渗碳—扩散—预冷—（缓冷 / 直接淬火—清洗—回火。）

6）预氧化—加热—渗碳—扩散—中间冷却—再加热—（直接淬火 / 压床淬火）—清洗—回火。

由于推杆式气体渗碳线种类很多，很难对每一种炉型都提出具体要求。为使用方便起见，本标准只对典型的推杆式气体渗碳线在功能方面提出一些基本要求，其他炉型可参照此基本要求执行。

在推杆式可控气氛渗碳线发展过程中曾采用过多种技术措施，本标准中只能纳入现行主流技术。以碳势控制方法为例，历史上曾采用过气体分析法、电阻丝法、露点法、CO_2 红外仪法以及现在普遍采用的氧探头法，本标准中只采纳了氧探头法一种。

由于渗碳线上炉子不同部位的炉壁温度相差较大，而且由于炉子结构不同，同一部位也会产生很大的差异，所以用限制炉壁温升来控制节能指标在实际工作中很难执行。因此，本标准虽然也提出了炉壁温升的指标，但此指标主要是为改善现场工作环境，应以合格工件可比电单耗作为节能指标。

在本标准中可比电单耗是以满负荷生产为条件的，只有在满负荷生产的条件下电单耗指标合格即可。不满负荷生产与设备本身性能无关。不同工件使用的工装不同，其工件有效装载率也不同。本标准附录 C 中的可比电单耗指标是按工件单重小于 10kg 的中小工件，其工件有效装载率为 0.7 的情况下制定的（这是一个平均值，是根据美国金属学会 1967 年对 33 家企业统计的资料，其工件有效装载率实际为 0.685）。

多排渗碳炉与单排渗碳炉相比，其基本要求相同，只多排渗碳炉生产能力更大，生产率更高，可比电单耗也更低。以双排渗碳炉与单排渗碳炉相比，其可比电单耗可降低 20% 左右。本标准附录 C 中的可比电单耗指标是按推杆式气体渗碳线的基本型制定的。

关于常用金属材料、工艺过程及其基本工艺参数则属于产品设计及生产工艺问题，不宜放在此标准中探讨。各企业对同一种钢材、同一种产品而采用的工艺方法及工艺参数也不尽相同。因此，关于推杆式气体渗碳线的工艺问题只能在附录中提供一种典型的工艺参数作为参考。

本标准中创造性地提出了推杆式气体渗碳线的可靠性要求，并对故障分类和可靠性指标做出了具体规定。这对工艺装备制造厂商是一个大的挑战，但对设备用户是一个可靠的工艺保障和产品质量保障。随着热处理工艺装备的快速发展和各种配套件质量的提高，推杆式可控气氛渗碳线的可靠性指标有待进一步完善和提高。（中国第一汽车集团公司嘉信热处理科技有限公司牟宗山供稿）

三、标准内容（JB/T 10896—2008）

推杆式可控气氛渗碳线热处理　技术要求

1　范围

本标准规定了钢件在推杆式可控气氛渗碳线生产过程控制中的技术要求，设备指标、电耗测定、可靠性、安全、环保等要求。

本标准适用于大批量生产，零件单件质量为 0.1～40kg，渗碳层深度为 0.3～3.0mm 的渗碳钢制零件的各种渗碳处理。本标准中渗碳炉为电加热，不适用于燃料炉，也不适用于由推杆式炉与转

底式炉组合而成的柔性生产线的热处理。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文性，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 7231　工业管道的基本识别色、识别符号和安全标识

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测量和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 10066.1　电热装置基本技术条件　第1部分：通用部分（GB/T 10066.1—2004，IEC 60398：1999，MOD）

GB/T 13324　热处理设备　术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求

JB/T 10312　钢箔测定碳势法

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　渗碳线　carburizing line

可以独立完成整个渗碳过程，一般由渗碳炉、淬火槽、清洗机、回火炉、料盘传送机构、工艺控制系统及电气控制系统组成的生产线，一般除装卸料操作外，均能自动运行。

3.2　推杆式炉　pusher type furnace

用推杆输出驱动力来克服料盘与炉内导轨之间摩擦阻力来改变工件的位置，将料盘推向前方的热处理炉。推杆一般采用液压驱动或机电驱动。

3.3　推料周期　time interval（push time interval）

推杆式连续炉每一次推料的时间间隔，以分钟表示。

3.4　工件有效装载率　effective loading rate of parts

料盘所装工件净重与料盘总重之比值，其大小与工件的形状、质量、技术要求和装载方式有关。

3.5　预氧化处理　preoxidation treatment

为提高渗碳工件渗层的均匀性，活化金属表面，在进入渗碳炉之前先进行一次460℃～520℃的预氧化处理，使工件表面形成一薄层均匀氧化膜的工艺方法。

3.6　预氧化炉　preoxidation furnace

为完成工件预氧化处理的设备。

3.7　窥视孔　peep sight，peepsite

在生产中为观察炉内情况，一般在炉子关键位置设置的用耐热玻璃密封的观察装置。

4　推杆式可控气氛渗碳线的技术要求

4.1　推杆式可控气氛渗碳线的基本要求

4.1.1　渗碳线的工艺流程，区段划分、功率分配、温度控制系统、碳势控制系统等应能满足产品的技术要求和生产率要求。

4.1.2　根据需要可在渗碳炉前增加预氧化处理或前清洗设备。

4.1.3　根据用户需要，加热、渗碳、扩散、预冷各区段可设置在一个贯通式炉膛内亦可设置在两

个或三个相关联的多个炉膛内。每一个贯通式炉膛内料盘总长度不应超过12m，料盘宽度不应大于800mm，料盘的装料高度应与料盘尺寸及炉膛的有效尺寸相适应。

4.1.4　根据用户的具体情况，渗碳气氛可以有以下几种选择：

——吸热式气氛 + 富化气；

——氮-甲醇气氛 + 富化气；

——有机液体裂解气氛；

——直生式气氛。

不论采用何种气氛，炉气碳势应能在0.60% ~1.20%的范围内调控，其控制精度应≤ ±0.05%C。炉气碳势测定按JB/T 10312执行。

4.1.5　如用户有特殊要求时，炉内碳势的控制点与监测点的数量及位置可由用户与制造厂协商确定。一般情况下，应在渗碳区、扩散区、淬火预冷区设置碳势传感装置及相应的钢箔定碳孔和炉内气氛取样口。

4.1.6　根据需要，炉区间应有减少气氛相互干扰的措施，使各区气氛碳势具有相对独立调节的功能，相邻两区碳势的差异应可调节至不小于0.02%的水平。

4.1.7　工件渗碳层均匀性应符合表1的规定。

表1　渗碳层均匀性的要求

层深/mm	0.3 ~0.6	0.6 ~0.9	0.9 ~1.3	1.3 ~1.7	1.7 ~2.3	2.3 ~3.0
允许偏差/mm	±0.06	±0.08	±0.10	±0.10	±0.12	±0.15

4.1.8　渗碳层深度的测量方法可按GB/T 9450执行。当工件渗碳后为缓冷状态时，可采用金相法测量，其测量方法和所执行的标准可由用户与制造商协商决定。

4.1.9　沿渗碳层深度的硬度分布与碳浓度分布应按有关行业标准执行。

4.1.10　推杆式可控气氛渗碳线一般设计成“口”字形布置。

4.2　预氧化炉

4.2.1　可采用燃烧炉或电加热炉。

4.2.2　视条件不同，应保证将零件表面温度加热至460 ~520℃，使工件表面形成 Fe_3O_4 氧化膜。当工件截面较薄，形成氧化膜过厚时，可缩短预氧化时间或适当降低预氧化温度。

4.2.3　为使加热均匀，炉子应设有空气循环装置。

4.2.4　为减少热量散失，应避免前后炉门同时开启，炉门应具有良好的隔热保温性能。

4.3　渗碳炉

4.3.1　根据产品的技术要求和产量情况，渗碳炉可设计成单排、双排或多排的形式。单排炉亦可根据渗层深度要求及产量的具体情况设计成三个区段、四个区段或五个区段的炉型。

4.3.2　各加热区段都必须设置独立的温度控制系统，各区段的加热功率配置应满足所设计额定载荷的加热、保温的需要，且应保证温度均匀性符合要求。

4.3.3　渗碳炉的工作温度一般在880 ~940℃内。淬火预冷温度按工艺要求确定。

4.3.4　除加热、降温区段及处于相邻两区中间的料盘位置外，各区段的温度均匀性应≤ ±8℃。测定方法可按附录A执行。

4.3.5　为保证炉内温度及气氛均匀，应在适当位置设置气氛循环装置。空炉冷态时炉内空气流动速度在气氛循环装置附近料盘上方150mm处应不低于2m/s。如达不到此项要求应有其他措施以保证气氛碳势的均匀性。

4.3.6 应保证产品获得合理的碳浓度分布曲线或硬度分布曲线。

4.3.7 应配置炉膛烧炭黑装置。

4.3.8 炉子在工作状态时应处于密封状态，在正常气氛流量的情况下，炉压应维持在 20～100Pa。

4.3.9 与气氛接触的内炉衬应采用轻质抗渗碳材料砌筑（炉底支撑部分除外）。

4.3.10 电加热元件应有防止元件被渗碳的措施，并方便更换维修。

4.3.11 设备应安装牢固，并应采取因加热升温炉体膨胀的应对措施。

4.3.12 为减少在进出料时外界空气对炉内气氛的影响，应在进料端设置前室，在出料端设置后室。当工件为直接淬火时，应在后室不接触空气的条件下淬火。在前、后室上应设防爆装置。

4.3.13 应在前端和后端的适当位置设置检修门。

4.3.14 应在设备的各关键位置设窥视孔，以方便随时观察炉内情况。

4.3.15 渗碳炉采用侧出料方式时，应在出料端设置料盘限位器，以保证料盘出炉位置准确。

4.3.16 渗碳炉炉壁温升应小于 50℃，按 GB/T 10066.1 规定测量。

4.3.17 在渗碳炉的前端和后端应设置测炉压装置。

4.3.18 在进料和出料门处是否设置火帘装置可由用户和制造商协商确定。

4.4 淬火系统

4.4.1 后室（淬火室）及进排气系统的设计应能使工件淬火时炉气压力波动正压不大于 2000Pa，负压不大于 1500Pa。

4.4.2 淬火油槽的容量应能满足设计最大重量炉料的淬火要求。一般主油槽的油量不低于一次淬入炉料重量的 15 倍。

4.4.3 淬火油槽应设置油搅拌装置，以满足快速均匀冷却的要求。搅拌强度应可调节，以适应不同钢种，不同零件的要求。

4.4.4 淬火时产生的油烟应不对炉内气氛产生影响。

4.4.5 密封式淬火油槽应设置副油槽及相应的油泵及溢油装置，并能自动及时调整主油槽的油量，使主油槽的油面始终保持在安全高度的范围内。

4.4.6 淬火油的使用温度应低于所使用油品的闪点 50℃。

4.4.7 淬火油冷却系统可采用水冷或风冷的方式。在采用水冷方式时，系统中水压不得超过油压，并应设置相应的计量装置，且不得采用闭路循环，应采用开路循环以便观察。

4.4.8 在水质较硬的地区应尽量采用风冷方式。

4.4.9 淬火油槽可不设加热装置，但应设置油温控制系统，以防止油温过高。

4.4.10 直接淬火后的出料方式可采用潜泳式，可采用在后室上开门直接出料。

4.4.11 淬火系统中应配置可靠的灭火装置。

4.5 清洗机

4.5.1 应能将附着在工件、料盘、夹具上的油污洗净。

4.5.2 采用金属清洗剂作清洗液时，其使用温度则按该金属清洗剂的使用说明执行。

4.5.3 应配置保持清洗槽液面高度及溶液浓度的相应措施。

4.5.4 清洗后的炉料应经 70～90℃热水喷淋或漂洗，洗净后再吹干或烘干。

4.6 回火炉

4.6.1 回火炉的工作温度一般在 170～220℃。

4.6.2 回火炉的炉温均匀性应≤±5℃。应采用热风循环加热方式。

4.6.3 回火炉的生产能力应与渗碳炉相匹配，在满负荷生产时应能将工件连同料盘、夹具加热至工艺要求温度并保温不少于 30min。

4.6.4　设备正常生产中前后炉门不应同时打开。

4.6.5　炉壁温升应低于30℃。

4.7　料盘传送机构

4.7.1　渗碳炉的主推杆应有足够的推力，以克服料盘与导轨间的摩擦阻力。

4.7.2　主推杆推头的起始位置应可根据渗碳炉升温膨胀的情况进行调整。

4.7.3　主推杆的推头应便于更换，还应设置电动机过载保护及机械过载保护。

4.7.4　所有传送料架与相连接的料架或设备间的位置应相对固定。

4.7.5　所有推拉料机构运动均需平稳顺畅。主推杆的运动速度以1.5~2m/min为宜，其余推杆以4.5~6.5m/min为宜。

4.7.6　装卸料工位的高度需方便操作，如炉子导轨标高高于800mm操作不方便时，则应加装升降工作台及低辊道。

4.8　进排气系统

4.8.1　每个流量计均需用固定标牌标明其所计量物质的名称、密度及区号。其刻度应与其所标明的介质相一致。若采用以空气（或水）标定的流量计则应标明其换算关系式或换算表。

4.8.2　流量计的规格应与实际使用量相匹配。

4.8.3　对于有腐蚀性的气体或液体的管路及阀门应采用不锈钢制品、流量计的密封垫亦需要采用耐腐蚀材料制成。

4.8.4　不同介质的管路应漆以不同的颜色，漆色按GB 7231执行。

4.8.5　对于有机液体裂解气氛，其有机液体滴入方式可采用高位滴注箱，亦可采用氮气压力注入方式。

4.8.6　有机液体宜采用炉前汽化后再输入炉内的方式。

4.8.7　为防止有机液体裂解气氛的滴注液倒流至气体管路，管路中应设阻流措施。

4.8.8　气氛入炉输入管的位置应使输入气氛均匀。

4.8.9　对于有机液体裂解气氛应有防止滴注液入炉结焦堵塞输入管的措施。

4.8.10　气氛的小时用量应为渗碳炉炉膛容积的2~3倍。

4.8.11　排气管一般为设在前室及后室。其位置应便于排除前室（或后室）内的空气，前后排气量应可以调节。

4.8.12　在所有排气管及在开启炉门（室门）后有可燃气体溢出的地方均需设置点火装置及监测装置。

4.9　控制系统

4.9.1　电气控制系统的组成

电气控制系统一般由操作控制系统、温度控制系统、碳势控制系统组成，也可以用计算机和原系统组成集散型控制系统，以实现较复杂的工艺过程控制及生产信息管理。

4.9.2　电气控制系统的电源

电气控制系统的电源应单独供电，电源要求：3相，50Hz，380V，电源电压波动不大于±10%，并有可靠的接地系统及完善的保护装置。

4.9.3　电气控制系统配线

4.9.3.1　导线的敷设宜采用线槽（管）架空走线。线槽（管）连接处应有接地线，所有带金属外壳的电器元件必须按规定接地。

4.9.3.2　所有控制柜、操作盘、按钮站等电器设备的接线端子应连接牢固，并应有工整清晰的线号。

4.9.3.3 炉体附近的线槽（管）距炉体等热源部分应大于100mm，导线绝缘体应耐热。
4.9.3.4 主电路、控制电路与弱电路应分槽（管）敷设。
4.9.4 操作控制系统
4.9.4.1 操作控制系统的组成
一般由操作控制柜、按钮站、接线盒、行程开关、电磁阀、电动机等组成。
4.9.4.2 操作控制系统的要求
4.9.4.2.1 应采用可编程控制器作为操作程序的逻辑控制器件。其输入信号及指示灯等均应采用24V安全电压。
4.9.4.2.2 操作盘应设置在方便观察设备动作的位置。
4.9.5 温度控制系统
4.9.5.1 温度控制系统的组成
一般由温度控制仪表、超温报警仪表、加热元件、供电装置及温度传感器等组成。
4.9.5.2 温度控制系统的要求
4.9.5.2.1 渗碳炉各区必须有单独供电柜供电，其功率输出应与该区负载相适应。
4.9.5.2.2 渗碳炉各区除设置控温仪表外，尚需配置超温报警仪，其信号来自与温度控制仪表热电偶相邻的另一热电偶。
4.9.5.2.3 热电偶或热电阻的测量端必须安装在该区域具有代表性的位置，并尽量靠近工件。
4.9.5.2.4 渗碳炉温度控制系统配套的仪表其精度等级应不低于0.5级；热电偶或热电阻精度等级应与控温仪表相一致。
4.9.5.2.5 渗碳炉用热电偶需采用特殊的保护措施，以防止或延缓在使用过程中被渗碳而失效。
4.9.6 碳势控制系统
4.9.6.1 系统的组成
碳控系统一般由碳控仪、炉气碳势传感装置（一般采用氧探头）碳势调节执行机构。参比空气及烧炭黑装置等组成。
4.9.6.2 碳控系统的安装要求
氧探头应安装在具有代表性的位置。一般呈水平或垂直位置安装，且应避开加热元件的影响。

5 渗碳线的可靠性要求

5.1 渗碳线的故障分类
——一类故障 在生产中发生影响生产必须停炉检修的故障。
——二类故障 在生产中炉内发生，并可在不影响正常生产的情况下迅速修复的故障。
——三类故障 在生产中发生诸如行程开关过位，推杆过载报警等属于电器元件质量、安装不牢固或运行不顺畅，只需稍作紧固或调整即可解决的故障。
对于易耗品的正常损坏和更换如熔断器烧毁、指示灯泡不亮等则不应视为故障。
5.2 渗碳线的可靠性指标
5.2.1 六个月内不应出现因设计、制造质量引起的一类故障。
5.2.2 三个月内不应出现二类故障。
5.2.3 一个月内三类故障不应超过三次。
5.2.4 辐射管的使用寿命应不少于一年。
5.2.5 渗碳炉衬的使用寿命应不少于五年。

6 渗碳线的安全要求

6.1 当与炉膛相联并可能充有可燃气体的独立密闭空间的工作温度低于760℃时，应设有防爆装

置。

6.2　炉膛温度低于760℃时不得向炉内通入可燃气体，气氛管路中应设有与温控仪表联锁的截止阀。并在醒目位置设置警告牌。

6.3　在所有可能造成运动机构碰撞的地方都应设置电气安全联锁装置，在推拉料机构还应设置电机过载保护装置。

6.4　在所有机械传动裸露部分和电器接头裸露部分都应安装防护罩，防护罩上还应设通风孔。

6.5　在所有可能造成操作人员伤害的地方应设警告牌。

6.6　在炉顶周围应设置护栏，并在适当位置设置脚踏板，以方便操作人员在炉顶工作。

6.7　在炉子的适当部位应设固定扶梯。

6.8　当设备发生故障或工艺参数超差时，应能发出声光报警信号，并能显示故障的大致部位。

6.9　当生产场所发生停电、停气等意外事故时应有相应的安全保护措施，以保护操作员、设备及工件的安全。例如：在停电时可以用人工方法启动炉门、移动推杆、淬火台升降、切断气源或充入氮气等。设备使用说明书中应包含设备故障时的处置方法。

6.10　加热炉炉壳应采用耐热漆，炉子的漆色由用户与制造商协商确定。协作配套件应保持原厂漆色。

7　渗碳线的电耗

7.1　在推杆式可控气氛渗碳线的电控柜上应装有有功电能表，应能分别考核渗碳工序的电耗和整套渗碳线的电耗。

注：渗碳工序的电耗是指渗碳炉加热区、渗碳区、扩散区及预冷区电耗的总和。对于只有三个区的渗碳炉来说，渗碳工序的电耗就是该三个区电耗的总和。

7.2　在满负荷生产状态下，工件材料为低合金渗碳钢，渗碳工件的电耗指标见附录B。

8　渗碳线的环保

8.1　所有渗碳介质管路、阀门及其他附件均不得有泄漏现象。

8.2　在渗碳炉废气排气口、前、后室门、淬火槽、清洗机及回火炉门处均应设置排气装置。

8.3　测量压力不得采用水银压力表。

8.4　不得采用三氯乙烯等对人体健康有害的有机溶液作为清洗剂。

8.5　清洗机应配置油水分离装置。

8.6　正常生产时，推杆式可控气氛渗碳线运转产生的噪声不应大于85dB。

8.7　生产场所应有良好自然通风或强制通风。

8.8　车间空气中有害气体浓度应符合GB 15735的规定。

9　工件的质量控制与检验

9.1　渗碳线工件的质量控制

9.1.1　渗碳前工件的表面应无油污、伤痕及锈蚀，其原材料及金相组织应符合要求。

9.1.2　对局部渗碳的工件应有适当的保护措施。

9.1.3　工件装夹时应避免工件相互接触。

9.1.4　设备的各工艺参数（典型工艺参数见附录C）应稳定在工艺规定的范围内，应定期对各温控、碳控仪表进行检查，以保证其工作准确性。

9.1.5　渗碳气氛的气源质量应稳定。

9.2　渗碳线工件的质量检验

9.2.1　外观

表面应无裂纹及氧化皮等缺陷。

9.2.2 硬度

表面硬度及心部硬度应符合工件图样规定或符合工艺规定的技术要求。

9.2.3 金相组织

马氏体、碳化物及残留奥氏体级别应符合工件图样的规定或有关行业标准的要求。

9.2.4 渗碳层深度

渗碳层深应符合工件图样要求或工艺规定的技术要求。渗碳层均匀性应符合表1的规定。

9.2.5 畸变

畸变应符合图样或工艺规定的技术要求。

附 录 A

（规范性附录）

推杆式可控气氛渗碳线炉温均匀性的测定

A.1 炉温均匀性测定的条件

新建设备或经过大修改造的设备投产前应进行炉温均匀性的测定；在正常生产过程发生异常现象怀疑炉温均匀性有问题时可进行炉温均匀性测定。

A.2 炉温均匀性的测定方法

根据条件炉温均匀性的测定可在下述三种方法中选择一项进行。

——采用九点渗碳试棒间接测定炉温均匀性；

——采用铠装热电偶测定；

——采用炉温跟踪仪（俗称黑匣子）测定。

A.3 炉温均匀性测定的具体步骤

A.3.1 采用九点渗碳试棒测定

A.3.1.1 采用九点渗碳试棒间接测定炉温均匀性时，测定工作应在渗碳炉热态调试后正式生产前进行。

A.3.1.2 所用渗碳试棒应用与工件相同的材料制成，其直径应与工件主要渗碳部位尺寸相适应，但不得小于10mm。其长度约为直径的2.2～3倍，中部应开有凹槽，以便固定。

A.3.1.3 将九个试棒固定于某一料盘四方体装料空间的八个顶点及中心位置，并做出相应标记，随工件同时入炉渗碳。

A.3.1.4 试棒出炉后检查渗碳层深度及表面碳浓度，符合表1规定者视为炉温均匀性合格。

A.3.2 采用铠装热电偶测定

A.3.2.1 炉子在冷态时预先将九支或五支铠装热电偶束从渗碳出料端的窥视孔送入炉内并用耐热材料将其热端固定在某一料盘四方体装料空间的八个顶点及中心位置上，或将热端固定在料盘某一断面的四个顶角及中心位置（当测量五个点时），热电偶冷端应固定在接线端子上再接入测温仪表，或通过转换开关接入测温仪表。测温仪表的精度应高于工作仪表。

A.3.2.2 在测温料盘的前后应各有不少于三盘满载等效负荷的料盘。

A.3.2.3 准备工作结束后，炉子开始按工艺要求升温，炉子到温并稳定后，在不通入渗碳气氛的情况按工艺周期推料并记录每一料盘位置时测温点的实际温度。直到出料端为止，炉温偏差符合要求者为合格。

A.3.3 采用炉温跟踪仪测定

A.3.3.1 测定工作应在渗碳炉烘炉、热调之后进行（对新建设备或大修改造后的设备），亦可在正常生产中进行。

A. 3. 3. 2　将炉温跟踪仪的九个测头固定在某一料盘四方体装料空间的八个顶点及中心位置上（当测量九个点时）或将炉温跟踪仪的五个测头固定在料盘某一断面上四个顶角及中心位置（当测量五个点时）。

A. 3. 3. 3　在测定料盘的前后应各有不少于三盘满载等效负荷料盘，按工艺规定参数依次推入炉内。

A. 3. 3. 4　出炉后读出测温数据，偏差小于 ±8℃为合格。

附　录　B

（规范性附录）

推杆式可控气氛渗碳线电耗指标及测定方法

B. 1　产品可比电单耗指标

在正常满负荷生产条件下，单排推杆式可控气氛渗碳线产品可比电单耗应等于或低于表 B. 1 的数值。

表 B. 1　低合金钢不同层深工件的可比电单耗

渗碳层深/mm	电耗指标/（kW・h/kg）		渗碳层深/mm	电耗指标/（kW・h/kg）	
	渗碳工序	整条生产线		渗碳工序	整条生产线
0. 3 ~ 0. 6	0. 45	0. 80	1. 3 ~ 1. 7	0. 57	1. 06
0. 6 ~ 0. 9	0. 48	0. 85	1. 7 ~ 2. 3	0. 84	1. 35
0. 9 ~ 1. 3	0. 52	0. 95	2. 3 ~ 3. 0	1. 30	1. 80

注：本表数字是按 10kg 以下中小工件其有效装载率以 0. 7 为基础制定的。整条生产线的电耗指标，只有在其附属设备配置相同的情况下才具有可比性。

B. 2　产品可比电单耗的测定方法

B. 2. 1　测定工作应在满负荷正常生产条件下进行，在考核期间工件的渗层深度应基本一致。

B. 2. 2　测定时间应不小于工件在渗碳炉内停留时间，且应起、止于推料周期开始或推料周期结束时。

B. 3　测定与计算

B. 3. 1　测定并记录考核期内渗碳工序的电耗及整条生产线的耗电量。

B. 3. 2　渗碳工序可比电单耗 b_k（单位为 kW・h/kg）可按式（B. 1）计算：

$$b_k = w/T\ (60/tm) \quad \text{(B. 1)}$$

式中　w——考核期内渗碳工序电耗（kW・h）；

T——考核期时间（h）；

t——推料周期（min）；

m——考核期内平均每盘所生产合格工件的质量（kg）。

B. 3. 3　整条生产线单位产品电耗 B_k（kW・h/kg）可按式（B. 2）计算：

$$B_k = W/T\ (60/tm) \quad \text{(B. 2)}$$

式中　W——考核期内整条渗碳线电耗（kW・h）；

T——考核期时间（h）；

t——推料周期（min）；

m——考核期内平均每一料盘所生产合格工件的质量（kg）。

注：若在考核期内，相同层深要求的工件不足以装满渗碳炉时，可以等效载荷替代，平均每盘所生产合

格工件的质量，可按实际平均数计算。

附　录　C

（资料性附录）

推杆式可控气氛渗碳线典型工艺参数

推杆式可控气氛渗碳线典型工艺参数举例如表 C. 1 所示。

表 C. 1　推杆式可控气氛渗碳线典型工艺参数

<table>
<tr><td rowspan="4">指标要求</td><td colspan="9">设　备　类　型</td></tr>
<tr><td rowspan="2">预氧化炉</td><td colspan="5">渗　碳　炉</td><td rowspan="2">淬火油槽</td><td rowspan="2">清洗机</td><td rowspan="2">回火炉</td></tr>
<tr><td>一区</td><td>二区</td><td>三区</td><td>四区</td><td>五区</td></tr>
<tr><td colspan="9">温度/℃</td></tr>
<tr><td></td><td>500</td><td>880</td><td>910</td><td>930</td><td>900</td><td>850</td><td>90</td><td>80</td><td>200</td></tr>
<tr><td>吸热性气氛/(m³/h)</td><td></td><td>7</td><td>7</td><td>4</td><td>4</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>丙烷气/(m³/h)</td><td></td><td></td><td>自动调节
≈0. 05</td><td>自动调节
≈0. 2</td><td>自动调节
≈0. 05</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>空气/(m³/h)</td><td>自然状态</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>自动调节
≈0. 05</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>控制碳势(%C)</td><td></td><td></td><td></td><td>1. 15</td><td>1. 0</td><td>0. 9</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

注：工件材料：20CrMnTi；有效层深要求：1. 2 ~ 1. 6mm；推料周期：30min；每盘料重 220kg（毛）；每盘工件净重：150kg；渗碳炉内料盘总数 22 个；潜泳式出料。

第四节　大型可控气氛井式渗碳炉生产线热处理技术要求

一、概论

这几年来，热处理对机械装备性能的影响已引进国家相关部门的高度重视，工信部多次发文强调，在《机械基础件、基础制造工艺和基础材料产业“十二五”发展规划》中把热处理列为 6 类重点发展的基础制造工艺。最近，工信部、科技部、财政部、国务院国资委四部门在联合公布的《重大技术装备自主创新指导目录》中，把大型高精度冶金设备、大型施工机械、轨道交通、船舶、港口、发电等大型装备列入重点发展项目，特别是首次提出将加工大型装备的“热处理工艺技术”作为“需突破的关键技术”，充分反映了当前国家已把热处理加工放在一个非常重要的位置。

长期以来，我国热处理以粗放型加工为主。国防工业和许多重点工程所需的重要工艺装备及核心零部件常常需要依赖进口，受制于人，成为制约机械装备工业振兴发展的瓶颈。

大型可控气氛井式渗碳炉生产线是重大装备中超大型、高参数齿轮，高速、精密、重载轴承等关键件热处理加工的重要设备，在国家许多重大工程项目中起着非常关键的作用。目前，该技术及装备已在国家许多重点项目中广泛采用，并取得较好的使用效果。经检索，国内外还没有相关的国际、国家或行业标准。国内的热处理设备厂商基本各自为政，缺乏互相交流，在一定程度上影响到大型可控气氛井式渗碳炉的设计、制造、安装调试和产品的技术进步。制定《大型可控气氛井式

渗碳炉生产线热处理技术要求》行业标准有利于规范同类型产品的制造要求，推动大型可控气氛井式渗碳炉制造的良性发展。使用设备厂家可以参考《大型可控气氛井式渗碳炉生产线热处理技术要求》行业标准正确、合理选择大型可控气氛井式渗碳炉的设备，并从中找到相关的技术支持。同时大型可控气氛井式渗碳炉的标准化生产、设计、制造可以缩短制造厂家的生产周期，节约成本，加强行业内的技术交流，促进热处理设备的更新换代和推动装备制造行业的技术升级，促进相关产业向前发展。

在 JB/T 11077—2011《大型可控气氛井式渗碳炉生产线热处理技术要求》的编制过程中，参考了近期发布的行业相关设备、工艺标准，考虑到大型可控气氛井式渗碳炉生产线的特殊性，在一些通用标准要求的基础上，对空炉损失、表面温升、可靠性、安全性、环境保护提出了一系列考核指标。由于大型井式渗碳炉的工作区尺寸需适应工件的要求，其规格尺寸可由供需双方商定，标准中没有一一列出，其常用规格见表 3. 4-1。由于大型可控气氛井式渗碳炉功率较大，同样工作区尺寸的设备，用户的实际功率匹配要求差异较大，因此取消了空炉升温时间的考核指标。另外，大型可控气氛井式渗碳炉生产线的节能减排要求也应符合相关的标准要求，标准中提供了相关的大型可控气氛井式渗碳炉电耗和工艺材料消耗参考值，作为资料性附录供使用者参考。

表 3. 4-1　大型可控气氛井式渗碳炉常用规格尺寸

<table>
<tr><th rowspan="2">参考型号</th><th colspan="2">工作区尺寸/mm</th><th rowspan="2">适用范围</th></tr>
<tr><th>直径 D</th><th>高度 H</th></tr>
<tr><td>RQD-100×100</td><td>1000</td><td>1000</td><td rowspan="17">适用于可控气氛中进行金属零件渗碳、碳氮共渗、淬火、退火、正火、回火等热处理。主要适用的零件品种如下
1）齿轮类：超大型、高参数齿轮及传动件，大功率风电机组齿轮，高速列车齿轮，核电循环水泵齿轮，舰船用大型齿轮及传动件，工程机械及矿山机械变速齿轮，大型掘进机齿轮，动车高速传动齿轮
2）轴承类：大功率风电机组轴承，大型运输机轴承，重载直升机轴承，长寿命高可靠性高速铁路列车轴承，重载货车轴承，轨道交通轴承，大型轧机轴承，大型施工机械轴承
3）紧固件类：汽车发动机紧固件，风电大规格高强度紧固件，飞机及航天器专用合金紧固件等</td></tr>
<tr><td>RQD-100×200</td><td>1000</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>RQD-100×400</td><td>1000</td><td>4000</td></tr>
<tr><td>RQD-120×120</td><td>1200</td><td>1200</td></tr>
<tr><td>RQD-120×240</td><td>1200</td><td>2400</td></tr>
<tr><td>RQD-120×360</td><td>1200</td><td>3600</td></tr>
<tr><td>RQD-140×200</td><td>1400</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>RQD-140×400</td><td>1400</td><td>4000</td></tr>
<tr><td>RQD-160×200</td><td>1600</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>RQD-160×400</td><td>1600</td><td>4000</td></tr>
<tr><td>RQD-160×600</td><td>1600</td><td>6000</td></tr>
<tr><td>RQD-200×200</td><td>2000</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>RQD-250×200</td><td>2500</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>RQD-250×250</td><td>2500</td><td>2500</td></tr>
<tr><td>RQD-300×200</td><td>3000</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>RQD-350×200</td><td>3500</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>RQD-400×200</td><td>4000</td><td>2000</td></tr>
</table>

二、标准应用说明

1. 标准的主要内容

1）范围。

2）规范性引用文件。

3）术语和定义。

4）大型可控气氛井式渗碳炉分类及生产线主要技术参数。

5）设计和制造要求。

6）配套设施要求。

7）热处理技术要求。

8）热处理工件品质要求与检验。

9）可靠性要求。

10）安全卫生、环境保护和能耗要求。

11）检验和试验方法。

2. 主要试验（或验证）情况分析

自大型可控气氛井式渗碳炉从20世纪80年代开始引进以来，在大型工程机械、港口机械、舰船、风电、钢铁等行业的国际合作中，以及国产设备与引进设备的使用比较中，积累了丰富的经验。本标准的起草，许多数据是在通过试验验证和认真比较分析，并结合国内多年的生产经验形成的，具有较好的先进性、实用性和可操作性。

（1）试验过程中控制技术的应用对比。炉温控制精度、炉温均匀性、碳势控制精度、碳势均匀性等是渗碳设备的重要指标，大型机械零件往往是交通、港口、国防等国家重点工程设备的关键件，有较高的热处理质量要求。为了确保大型渗碳炉的控制性能，在研制试验中对多种控制方式进行了试验比较。以下几种方式在试验及应用中取得了较好效果。

1）炉温精密控制。炉温控制采用主控+联控+监控三套控制系统，优于主控+监控系统。在炉盖上设置的热电偶作为主控，可控硅PID调节控制炉内、罐内的工作温度。在炉体上设置的各热电偶作为联控，可控硅PID调节控制各加热区的加热温度。主控与联控采用并行关联控制。与各主控与联控热电偶并设的另一热电偶与记录仪实行各温度的超温联锁保护，实现对炉温的精密控制。

2）碳势精密控制。对要求较高的渗碳炉碳势控制采用氧探头、红外气体分析等两套以上控制系统，工艺气体介质采用模拟量PID调节控制；实现O_2、CO_2、O_2+CO、CO_2+CO四种控制方式，以多系统多元素的控制确保大型、高精度井式渗碳炉可靠运行。其控制性能高于采用氧探头单控系统、模拟量PID调节控制的系统。

3）机电程序控制。对要求较高的渗碳炉，机电控制采用可编程序控制器（PLC），包括机械动作和温度、碳势、气氛、冷却水、压力等联锁控制。

4）成套控制及操作系统。对要求较高的渗碳炉，成套控制及操作系统采用大型可编程序控制系统和计算机智能化系统。全中文的大型可编程序控制系统包括设备的操作、运行工况显示、各区温度及碳势的数字显示和记录曲线、各区温度及碳势的控制、渗碳工艺过程的动态在线控制、工艺程序编制、工艺程序运行过程显示、报警信息等。计算机智能化系统包括计算机渗碳专家软件、计算机、打印机等，实现对可变程序控制系统的控制，运行工况显示、各区温度及碳势的数字显示和记录曲线、渗碳工艺过程的仿真模拟设计、工艺程序编制、工艺程序运行过程显示、报警信息等。使用工艺辅助设计，可按给定材料、层深、温度等条件，模拟工艺时间和碳浓度分布曲线。高智能化性能控制可确保更合理的工艺过程和大幅度提高工件处理的质量。

5）网络化控制。包括：①运用计算机网络平台，对生产线所有设备进行全自动化联控和群控；②计算机管理系统具有上位远距离控制、渗碳（渗氮）工艺程序控制、管理和贮存全部工艺过程的功能；③计算机智能化管理系统软件，实现对生产现场的生产组织管理和质量管理；④采用计算机能源管理系统软件，对多台设备的能源消耗进行计量、统计、分析，实现智能化能耗管理。⑤各设备的集成式智能控制器、计算机可分别通过因特网或物联网实现网络化远程控制、远程诊

断、远程服务、远程管理。

（2）试验过程中主要性能参数的对比。由于大型可控气氛井式渗碳炉生产线在制造中，积极采用智能化精密控制先进技术以及结构上的许多创新设计，使该标准设备的使用性能大幅度提升，主要性能参数及运行可靠性都达到国际先进水平。该标准的推广应用，有利于促进我国机械行业重大装备整体水平的提升，有利于增强我国先进机械装备在国际上的竞争力，提高装备制造业在国际上的地位。以下是采用精密控制技术与常规控制技术的部分性能参数对比。

1）不同渗碳控制系统的性能数据对比见表 3.4-2。采用精密控制系统由于控制精度高，可以较高的温度和气氛碳势进行渗碳，大幅度提高工作效率，提高零件处理质量。

表 3.4-2　不同渗碳控制系统的性能数据

项　　目	常规控制	精密控制	项　　目	常规控制	精密控制
控温精度/℃	±2	±1	碳势控制精度	±0.05%	±0.02%
炉温稳定度/℃	±5	±1	碳势稳定度	±0.1%	±0.05%
工作区温度均匀性/℃	±10	±5			

2）以 17CrNiMo6 为例，不同渗碳控制系统对比见表 3.4-3。精密控制比常规控制渗碳工艺周期平均缩短了 20%。

3）不同控制系统工艺及质量对比见表 3.4-4。精密控制比常规控制渗碳产品渗层和表面硬度偏差小，金相组织优良，且工艺质量重现性更好。

表 3.4-3　不同渗碳控制系统对比

项目		精密控制	常规控制	比较
渗碳温度/℃		930	920	高 10
强渗碳势		智能	1.1%	智能确定
扩散碳势		0.75%	0.75%	相同
渗层深度/mm	2	15h	19h	79%
	3	31h37min	40h	79%
	4	54h16min	68h	80%
	5	82h57min	104h	80%
	6	117h37min	148h	79%

表 3.4-4　不同控制系统工艺及质量对比

项　　目	精密控制	常规控制
渗碳层深偏差	5%	≥10%
渗碳层表面硬度偏差	≤1.5HRC	3～4HRC
碳化物	≤2 级	3～5 级
残留奥氏体	≤2 级	2～4 级
马氏体	≤2 级	3～5 级
铁素体	≤2 级	3～4 级

4）新旧标准产品能耗试验实测数据对比见表 3.4-5。设备能耗是热处理加工的一项重要指标，也直接反应热处理设备结构、性能水平的高低。从新老设备能耗的对比可见，按本标准生产的大型井式渗碳炉，其能耗大大低于传统产品，相同的渗碳深度，RQD 新产品的能耗不到 RQ3 老产品的一半，节能率高达 55%。经多个产品的检测表明，炉型越大，装载量越大，单位电耗越低。如 ϕ3.0m×2.0m 的装载量比 ϕ2.0m×2.0m 大一倍，层深 3.0mm 的电耗低至 0.67kW·h，仅为老产品的 1/3。这个指标与国际上最先进的大型渗碳设备检测数据处于同一水平。

5）不同工艺介质消耗试验实测数据对比见表 3.4-6。实测对比表明，本标准产品工艺介质消耗比国内同规格传统结构非精密控制的渗碳炉，甲醇及氮气消耗消耗减少 45%，丙烷消耗减少 48%。这些节约还不包括传统产品的因质量偏差造成的返工、补渗、次品带来的浪费。

表 3. 4-5 新旧标准产品能耗试验实测数据对比

产品类型	炉型规格	渗层深度 /mm	渗碳温度 /℃	工件质量 /kg	总耗电量 /kW·h	平均电耗 /(kW·h/kg)	GB/T 17358—2009 定额电耗/(kW·h/kg)
本标准产品电耗	RQD-300×200	3. 0	930	24500	16416	0. 670	2. 117
	RQD-200×200	3. 0	930	12240	8800	0. 719	2. 117
	RQD-200×200	2. 0	930	12240	7148	0. 584	1. 277
	RQD-200×200	1. 5	930	12240	6365	0. 520	0. 874
旧标准产品电耗	RQ3-90-9D	1. 5	910	600	739	1. 150	0. 874(1. 5kW·h/kg)
	RQ3-105-9D	1. 0	920	800	628	0. 785	0. 605(1. 2kW·h/kg)

注：括号内参数为旧标准 GB 10201—1988 的工艺电耗定额。

表 3. 4-6 不同工艺介质消耗试验实测数据对比

工艺介质品种	天龙 RQD-200×200	国内同规格 ϕ2m×2m
甲醇消耗量/(L/h)	3	5. 5
氮气消耗量/m^3	3. 3	6
丙烷消耗量/m^3	1. 3	2. 5

本标准在采用计算机渗碳专家系统和管理系统软件进行工艺介质自动供给试验时，可实现离线模拟、在线动态控制。使用碳势自动设定和工艺仿真设计功能时，无须设定碳势，在线模块会根据炉内炭黑及所渗工件碳化物，自动计算出最合适的碳势和自动控制工艺介质的流量，可按给定材料、层深、温度等条件，模拟工艺时间和碳浓度分布曲线及数值。较高的自动化、智能化程度可确保工件处理的质量，同时缩短工艺时间，显著节省工艺材料的消耗。

（3）试验实测数据综合对比。试验实测数据和相关标准的综合对比见表 3. 4-7。

表 3. 4-7 试验实测数据和相关标准的综合对比

项目	实测数据	相关标准要求	对比说明
炉温均匀性	550～930℃，≤±5℃；到温后 2h 内测得	热稳定状态时测量	现行标准规定，电阻炉的炉温均匀度应在热稳定状态下测量，大型渗碳炉到热稳定态需十几小时乃至几十小时，这段长时间的炉温不均匀度将直接影响渗碳件的质量，特别是对于较浅渗层的工件，还未达到热稳定状态，渗碳程序就已结束，本实测方法完全符合实际工艺运行状态
炉温稳定度	≤±1℃	C 级炉为±1℃	达到国家标准 C 级炉要求
碳势均匀性	≤±0. 05%	未明确要求	满足大型渗碳工件质量要求，实现精密控制
碳控精度	≤±0. 02%	±0. 05%	比国家标准要求高，实现精密控制
渗层均匀性	≤±4%	未明确要求	满足大型渗碳工件质量要求，实现精密控制
有效硬化层偏差	≤±5%	<10%（按正负偏差衡量）	满足大型渗碳工件质量要求，实现精密控制
金相组织	碳化物≤3 级，马氏体、残留奥氏体≤3 级，心部铁素体≤3 级	碳化物，马氏体，残留奥氏体，心部铁素体≤4 级	比其他标准要求严，实现精密控制

（续）

项目	实测数据	相关标准要求	对 比 说 明
工件表面硬度偏差	<2HRC	重要件 <3HRC，普通件 <4HRC	比其他标准要求严，实现精密控制
表面温升	炉体 <45℃	炉体≤50℃	比其他标准要求严，降低能耗
	炉盖 <50℃	炉盖≤100℃	
控温方式	主控 + 联控 + 监控	主控 + 监控	比其他标准要求严，提高控制精度和可靠性
碳势控制系统	二套以上	一套	比其他标准要求严，提高控制精度和可靠性
碳势控制方式	四种以上	一种	比其他标准要求严，提高控制精度和可靠性
载气调节	定量连续供给	电磁阀位式调节或手动	比其他标准要求严，提高控制精度
富化气、空气调节	PID 模拟量调节	电磁阀位式调节或手动	比其他标准要求严，提高控制精度
控制器	一体化集成控制器	温度、碳势分立式仪表	比其他标准要求严，提高控制精度和可靠性
控制器精度	0.25 级	1 级	比其他标准要求严，提高控制精度
计算机渗碳专家系统	工艺仿真设计	无此要求	实现渗碳工艺计算机设计
	在线动态控制，渗层偏差< ±4% CD	无此要求	实现工件渗碳层深自动精确控制
安全联锁	双重以上的安全联锁报警控制	无明确要求	切实保障设备运行可靠性

上述对比还可以看出存在以下实际情况：

JB/T 8929《深层渗碳》中，对设备提出的“碳势控制精度 ±0.05%”“温度均匀性在设定温度处≤ ±10℃”的要求较低，已直接影响到大型渗碳件渗碳速度的提高和表面碳浓度的准确性，以及表面硬度的偏差；“有效硬化层不均匀性允许偏差小于 10%”对于深渗层要求的大件，硬化层再加上切削加工的偏差，硬化层的不均匀性差别更大，严重影响工件的实际使用效果。

GB/T 10066.4《电热设备的试验方法 第 4 部分：间接电阻炉》中提出，“炉温均匀度在规定的测量点上，在试验温度下的热稳定状态时测量”。大型井式渗碳炉自升温至相应温度的热稳定状态要长达十几小时乃至于几十小时，这段长时间的炉温不均匀度将直接影响渗碳的控制，特别是对于较浅渗层的工件，还不到热稳定状态，渗碳程序就已结束。

通过对比分析，本标准根据大型可控气氛井式渗碳炉热处理加工的需要，做出了更为合理的规定，有利于大型重要工件渗碳质量的提高，有利于促进热处理加工设备和加工工艺的技术进步。

（4）温度、气氛控制精度及均匀性与同类标准对比。表 3.4-8 所示为炉温控制精度、均匀性对比。从表中可以看出，本标准指标在兼顾国内的基本需求同时，提出了比现行标准更高的要求，以满足关键重要零件加工的需要。

表 3.4-8 炉温控制精度、均匀性对比

项目	本 标 准			JB/T 3999—2007		JB/T 8929—2008
	高要求时	一般要求	较低要求	重要件	一般件	
炉温控制精度/℃	±1	±3	±5	未规定	未规定	≤1% T（于 400℃时为 ±4℃）
炉温均匀性/℃	±5	±8	±10	±10	±15	±10
碳势控制精度	±0.03%	±0.05%	±0.08%	未规定	未规定	±0.05%
碳势均匀性	±0.05%	±0.07%	±0.10%	未规定	未规定	未规定

对比表明，无论是温度控制还是气氛控制，控制精度均有明显提升。特别是均匀性，在大型渗碳炉中，本标准提出了炉温均匀性小于±5℃，碳势均匀性小于±0.05%的较高指标。该指标达到国内领先、国际先进水平，使国产大型渗碳设备与进口先进设备处于同一水平线上，为提高我国大型重载装备关键件的热处理质量，为大型机械装备赶超世界先进水平提供了有力保障。

3. 可靠性要求

提高大型渗碳设备的可靠性、稳定性是本标准另一个特点。国内多数热处理设备与进口产品相比，故障率高始终是一个难点。许多国内产品外观上与国外先进产品并无差别，但使用过程中故障频发。本标准将可靠性要求作为独立章节，意在引起足够重视，并将故障分为三类，规定了相应指标，如“一个月内三类故障不得超过3次”“三个月内不得出现二类故障”“六个月内不得出现因设计制造质量引起的一类故障”。对新型热处理设备提出严格的可靠性要求，将有利于促进解决国产高端热处理设备故障率高的难点。

4. 安全卫生、环境保护和能耗要求

安全联锁保护系统包括：传感器、仪表、温度、碳势、气氛、冷却水、压力、机械动作等联锁控制及报警。

标准中10.1.1条明确规定，“大型可控气氛井式渗碳炉生产线必须具有自动充氮气系统，在断电、炉温低于760℃，炉内压力低于设定值时，能自动切断工艺材料供应并充入氮气保护；淬火油槽应设置氮气灭火装置，安全氮气应符合JB/T 7530的规定”。10.1.5条规定，“当设备发生故障或工艺参数超过报警极限、停止供应工艺材料等意外情况时，应能发出声光报警信号，并有自诊断和故障记录功能”。这些规定有利于提高大型渗碳设备的安全使用性能和促使新型热处理装备技术水平的提升。

10.2.2条对热处理工艺过程的三废排放做出了严格规定。10.3条对热处理能耗提出了要求，并对大型可控气氛井式渗碳炉的电耗和工艺材料消耗（以氮甲醇+异丙醇为例）提出了参考指标。这些指标有利于促使热处理能耗的降低，有利于减少三废的排放，改善热处理工作条件，为提高环境质量做出贡献。[天龙科技炉业（无锡）有限公司湛宪宪、毛润辉供稿]

三、标准内容（JB/T 11077—2011）

大型可控气氛井式渗碳炉生产线热处理技术要求

1 范围

本标准规定了大型可控气氛井式渗碳炉生产线的术语和定义、渗碳炉分类及生产线主要技术参数、设计和制造、配套设施、热处理技术、热处理工件品质控制与检验、可靠性、安全卫生、环境保护和能耗、检验和试验方法等要求。

本标准适用于最高工作温度为950℃，电加热大型可控气氛井式渗碳炉生产线的设计、制造、检验和验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 7231 工业管道的基本识别色、识别符号和安全标识

GB/T 7232 金属热处理工艺术语

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1　电热设备的试验方法　第1部分：通用部分（GB/T 10066.1—2004，IEC 60398：1999，MOD）

GB/T 10066.4—2004　电热设备的试验方法　第4部分：间接电阻炉（GB/T 10066.4—2004，IEC 60397：1994，NEQ）

GB/T 10067.1　电热装置基本技术条件　第1部分：通用部分

GB/T 10067.4　电热装置基本技术条件　第4部分：间接电阻炉

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火

JB/T 6141.2　重载齿轮　渗碳质量检验

JB/T 6141.3　重载齿轮　渗碳金相检验

JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气一般技术条件

JB 8434　热处理环境保护技术要求

JB/T 8929　深层渗碳

JB/T 9209　化学热处理渗剂　技术条件

JB/T 10175　热处理质量控制要求

JB/T 10312　钢箔测定碳势法

QC/T 262　汽车渗碳齿轮金相检验

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121、GB/T 13324、GB 10066.4 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　大型可控气氛井式渗碳炉　large pit-type controlled atmosphere carburizing furnace

工作区尺寸直径和深度均大于等于1000mm（或容积相当）的可控气氛井式渗碳炉，称为大型可控气氛井式渗碳炉。

3.2　可控气氛井式渗碳炉生产线　controlled atmosphere carburizing furnace producing line

主要由可控气氛井式渗碳炉、缓冷罐、淬火槽、清洗机、回火炉等组成。

3.3　工作区尺寸　working zone size

大型可控气氛井式渗碳炉设计时规定，并在图样上标明的允许放置工件的炉内空间尺寸。工作区尺寸必须在有效加热区范围内。

4　大型可控气氛井式渗碳炉分类和生产线主要技术参数

4.1　大型可控气氛井式渗碳炉主要技术参数：

——额定功率：单位为千瓦（kW）；

——最高温度：单位为摄氏度（℃）；

——工作区尺寸：直径×深度，单位为毫米（mm）；

——最大装炉量：单位为千克（kg）；

——炉温控制精度：单位为摄氏度（℃）；

——炉温均匀性：单位为摄氏度（℃）；
——碳势控制精度：w（C）；
——碳势均匀性：w（C）；
——空炉损失：单位为千瓦（kW）；
——表面温升：单位为摄氏度（℃）；
——适用气氛和气体耗量：单位为立方米每小时（m^3/h）。

4.2 井式缓冷罐主要技术参数：
——额定功率：单位为千瓦（kW）；
——工作区尺寸：直径×深度，单位为毫米（mm）；
——最大装料量：单位为千克（kg）；
——适用气氛和气体耗量：单位为立方米每小时（m^3/h）。

4.3 井式淬火槽主要技术参数：
——额定功率：单位为千瓦（kW）；
——工作区尺寸：直径×深度，单位为毫米（mm）；
——最大装载量：单位为千克（kg）；
——淬火槽容积：单位为立方米（m^3）；
——淬火介质工作温度范围：单位为摄氏度（℃）。

4.4 井式清洗机主要技术参数：
——额定功率：单位为千瓦（kW）；
——工作区尺寸：直径×深度，单位为毫米（mm）；
——最大装载量：单位为千克（kg）；
——清洗室容积：单位为立方米（m^3）；
——清洗工作温度：单位为摄氏度（℃）。

4.5 井式回火炉主要技术参数：
——额定功率：单位为千瓦（kW）；
——最高温度：单位为摄氏度（℃）；
——工作区尺寸：直径×深度，单位为毫米（mm）；
——最大装炉量：单位为千克（kg）；
——炉温控制精度：单位为摄氏度（℃）；
——炉温均匀性：单位为摄氏度（℃）；
——表面温升：单位为摄氏度（℃）；
——空炉损失：单位为千瓦（kW）；
——适用气氛和气体耗量：单位为立方米每小时（m^3/h）（对高温回火炉）。

5 设计和制造要求

5.1 一般要求

生产线设备应符合 GB/T 10067.4 的规定。

5.2 对设计和制造的补充要求

5.2.1 大型可控气氛井式渗碳炉

5.2.1.1 炉衬

炉衬的材料除承载和易受碰撞的部分外，对有炉罐的大型可控气氛井式渗碳炉应采用耐火纤维，对无炉罐的，炉衬可采用轻质抗渗砖或抗渗处理的耐火纤维。

炉衬的大修期应符合表 1 的规定。

表 1　大型可控气氛井式渗碳炉炉衬大修期限　（单位：年）

炉衬类型	大修期
砖砌炉衬	≥5
耐火纤维炉衬	≥3

5. 2. 1. 2　加热元件

加热元件的使用寿命，在正常工作温度范围 500 ~ 950℃ 内不少于 10000h。

5. 2. 1. 3　炉罐、导风筒、搅拌风扇

炉罐、导风筒、搅拌风扇的使用寿命，应符合表 2 的规定。

表 2　炉罐、导风筒、搅拌风扇的使用寿命　（单位：年）

最高工作温度/℃	使用寿命		
	炉罐	导风筒	搅拌风扇
950	≥3	≥2	≥1

5. 2. 1. 4　工作温度

最高工作温度为 950℃ 的大型可控气氛井式渗碳炉，其工作温度是从 500℃ 到最高工作温度。

5. 2. 1. 5　最大装载量

大型可控气氛井式渗碳炉最大装载量：按装载系数（有效工作区体积 × 工件密度）不超过 0. 3 计算。

5. 2. 1. 6　加热能力

加热能力（kg/h）按 250DH 计算，（其中 D 是有效工作区直径，H 有效工作区高度，单位 m）。

5. 2. 1. 7　炉温控制精度

按工艺控制要求，供需双方可选择确定为 ±1℃、±3℃、±5℃。

5. 2. 1. 8　炉温均匀性

按工艺控制要求，供需双方可选择确定为 ±5℃、±8℃、±10℃。

5. 2. 1. 9　碳势控制精度

按工艺控制要求，供需双方可选择确定为 ±0. 03w(C)、±0. 05w(C)、±0. 08w(C)。

5. 2. 1. 10　碳势均匀性

按工艺控制要求，供需双方可选择确定为：±0. 05w（C）、±0. 07w（C）、±0. 10w（C）。

5. 2. 1. 11　工件渗碳淬火后有效硬化层深度偏差

有效硬化层深度偏差应符合表 3 的规定。

表 3　大型可控气氛井式渗碳炉有效硬化层深度偏差　（单位：mm）

硬化层深度	单件	同批	硬化层深度	单件	同批
0. 50 ~ 1. 00	0. 15	0. 20	>3. 00 ~ 5. 00	0. 45	0. 50
>1. 00 ~ 2. 00	0. 20	0. 30	>5. 00	0. 55	0. 60
>2. 00 ~ 3. 00	0. 30	0. 40			

5. 2. 1. 12　表面温升

大型可控气氛井式渗碳炉在最高工作温度的热稳定状态时，炉壳和炉盖、炉顶板的表面温升应符合表 4 的规定。操作手柄等的表面温升应不超过 25℃。

表 4　大型可控气氛井式渗碳炉表面温升

最高工作温度/℃	部位	表面温升/℃
950	炉壳表面	≤50
	炉盖和炉顶板表面	≤65

5.2.1.13　空炉损耗

大型可控气氛井式渗碳炉的空炉损耗按额定功率的百分比计算，应小于等于 25%。容积大于 $6m^3$ 的渗碳炉空炉损耗由供需双方协商确定。

5.2.1.14　其他

大型可控气氛井式渗碳炉其他方面的性能应符合供货合同中的相应规定。

5.3　生产线其他设施

大型可控气氛井式渗碳炉生产线的其他设备包括缓冷罐、淬火槽、清洗机、回火炉等。

5.3.1　井式缓冷罐

用于工件渗碳后的缓慢冷却处理，主要由罐体、罐盖及启闭机构、循环风机、导风筒、冷却水供给、氮气供给、控制系统等组成。

应根据生产线中最大装炉量进行配套设计，其冷却能力可满足缓冷工件要求并在缓冷过程中，采用通入氮气等措施降低工件氧化、脱碳倾向。

5.3.2　井式淬火槽

用于工件渗碳后直接淬火或二次加热后淬火用。其主要由槽体、支承座、槽盖及槽盖升降平移机构、淬火介质搅拌系统、导流筒、循环冷却系统、排烟（气）装置、充氮灭火装置、淬火介质温度（测量、调节）控制系统等组成。

应根据生产线中最大装炉量进行配套设计，淬火冷却能力和其他配套设施可确保淬火产品质量和安全。

5.3.2.1　应配置淬火介质循环冷却系统：由高温泵、换热器、电动阀、安全阀、单向阀等组成内外两套循环系统。当内循环系统淬火介质温度超过工艺规定时，可自动起动外循环系统。内外循环泵系统各由两台并联高温泵组成，当一台故障时，另一台可立即起动。

5.3.2.2　对于水质较硬的地区宜配置热管式风冷换热器及软化水处理装置。

5.3.2.3　对于油类或易燃性淬火介质，应设置氮气灭火装置，供入的氮气在淬火介质表面上形成隔绝空气的氮气层，以防止淬火介质的着火燃烧和灭火。

5.3.3　井式清洗机

用于工件淬火后的清洗，具有金属清洗剂（或热碱水）浸泡（或发泡浸泡）、喷淋、热清水喷淋、热风干燥（或真空干燥）功能。

井式清洗机主要由储液室、喷淋系统、热风循环系统（或抽真空系统）、加热装置、油水分离装置、液位控制装置、控制系统等组成。

5.3.4　井式回火炉

用于工件渗碳后的回火，与相应的大型可控气氛井式渗碳炉相配套。井式回火炉主要由炉壳、炉衬、底座、导风筒、加热元件、循环风机、排烟气装置、冷却水和氮气供给装置、控制系统等组成。

技术要求：

——应采用节能轻质保温耐火材料砌筑炉衬；

——应配置强对流循环风机和导风装置，满足控温精度和炉温均匀性要求，可参照 5.2.1.7 和 5.2.1.8 选择确定。

6　配套设施要求

6.1　循环冷却水系统

用于大型可控气氛井式渗碳炉生产线全部设备的循环冷却水的供给。其主要由贮水槽、冷却塔、冷却水泵装置、热水泵装置、冷却水管道及阀门、控制系统等组成。

技术要求：

——足够的贮水槽容积；

——足够的水冷却塔容量；

——足够的冷却水循环流量；

——水循环压力：0.3～0.5MPa；

——冷却水酸碱度 pH 值：6～7；

——配置循环水压力表、压力控制和流量控制装置；

——水循环泵均采用一用一备两套和自来水供给装置，确保任何情况下冷却水不中断。

6.2　工艺材料供给装置

用于大型可控气氛井式渗碳炉生产线全部设施的相关工艺材料供给。其包括氮气、甲醇、异丙醇（或丙烷、天然气等）、压缩空气、氨气等工艺材料的储存、过滤、防护等设施及管路系统。

技术要求：

——氮气可采用制氮机或液氮（贮罐、汽化器、调压装置）获得，工艺用氮气的纯度为≥99.5%，高温回火用保护氮气的纯度≥99.99%。

——各工艺材料的质量应符合 JB/T 7530、JB/T 9209 的规定。

——甲醇、异丙醇（或丙烷、天然气等）、氨气采用气罐和储气瓶；对采用加压供给的工艺材料，必须配置减压装置和相应的压力表及压力开关。

——对甲醇、异丙醇（或丙烷、天然气等）、氨气等易燃易爆、腐蚀性工艺材料的放置应符合化学品安全说明（MSDS）要求；应采取安全电压控制电路和防爆电器元件；氨气放置场地应设置防泄漏喷淋装置。

——各工艺材料的管道必须连接可靠、无泄漏。

——工业管路和相关位置安全标识按 GB 7231 的要求执行。

7　热处理技术要求

7.1　气氛选择

大型可控气氛井式渗碳炉气氛可选择吸热式气氛、有机液体裂解气氛、氮基气氛等。大型可控气氛井式渗碳炉生产线从安全、经济可靠运行，减少排放等角度考虑，可优先选择氮基气氛。

7.2　工件要求

7.2.1　工件材质

应提供处理工件的材料牌号、化学成分和性能指标等，要求符合相关标准的规定。

7.2.2　工件表面质量

渗碳处理工件表面应当清洁，不得有氧化皮、裂纹、锈斑、油污等缺陷。入炉前，工件表面应先在清洗设备中清除表面所有污染物，烘干后入炉。需要防渗的部位应采取必要的防渗措施。

7.3　装炉

根据工件的形状、尺寸等要求，选择不同的工装料具，应考虑最大装炉量与工件总表面积符合设备性能及工艺、安全要求。每一炉次按规定要求放置过程试样及终检试样。

7.4 工艺过程控制

7.4.1 工艺编制

大型井式渗碳炉的热处理工艺一般可由上位机或集成可编程序控制器，根据工件材料、技术要求等自动生成；优先选用带有智能控制渗层、组织等功能等专家系统软件，也可根据经验进行人工设定，无论采取何种方式确定工艺，均需通过多炉次验证调整后进行工艺参数的确认。

7.4.2 升温阶段

大型井式渗碳炉不宜直接加热到渗碳温度，可采取分段升温或控制升温速度进行加热。

7.4.3 渗碳阶段

在保证符合技术要求范围内，尽可能选择较高的渗碳温度，以缩短工艺周期。根据过程试样的金相检验结果，验证渗碳过程是否处于受控状态。并根据过程试样的检验结果，进行工艺参数的确认和调整。

7.4.4 渗碳后的处理

7.4.4.1 工件渗碳后根据工艺要求可选择直接淬火或降温缓冷，在缓冷罐中缓冷时应采取措施，减少工件表面氧化脱碳。

7.4.4.2 渗碳淬火后应及时进行清洗、回火。淬、回火时间间隔不超过4h。回火时间根据工件尺寸和装炉量确定。

8 热处理工件品质要求与检验

8.1 热处理工件品质要求热处理后的工件品质应符合 JB/T 10175 的规定。

8.2 热处理工件品质检验。

8.2.1 外观

工件表面应清洁，无明显污物，无裂纹等缺陷。

8.2.2 硬度

工件表面及心部硬度应符合 QC/T 262 或 JB/T 6141.2 的规定或供需双方签订的技术协议要求。

8.2.3 随炉试样的检查

如果工件体积较大，而且上述的品质检验无法直接在工件上进行，则可以检查随炉过程试样、终检试样或以双方签订的技术协议要求进行。

8.2.4 有效硬化层

有效硬化层深度偏差应满足技术要求并符合表3的规定，按 GB/T 9450、JB/T 3999、JB/T 8929 的规定进行检查。

8.2.5 金相组织的检查

可按 QC/T 262、JB/T 6141.3 的规定或以双方签订的技术协议要求进行金相组织检查。

8.2.6 工件畸变的检查

工件的畸变以双方签订的技术协议要求用相应的检测设施和方法进行。

9 可靠性要求

9.1 故障分类

一类故障——在生产中发生影响生产必须停炉检修的故障。

二类故障——在生产中发生可在不影响生产情况下能迅速修复的故障。

三类故障——在生产中发生属于电器元件品质、安装不牢靠或者运行不顺畅等，只需稍作紧固或调整即可解决的故障。

对于易耗品的正常损坏和更换如熔断器、指示灯烧坏等不应视为故障。

9.2 可靠性指标

9.2.1　一个月内三类故障不得超过3次。
9.2.2　三个月内不得出现二类故障。
9.2.3　六个月内不得出现因设计制造质量引起的一类故障。
9.2.4　炉衬的大修期限应符合表1的规定。
9.2.5　加热元件的使用寿命应符合5.2.1.2的规定。
9.2.6　耐热钢制的炉罐、导风筒、搅拌风扇使用寿命应符合表2的规定。

10　安全卫生、环境保护和能耗要求

10.1　安全卫生要求

10.1.1　大型可控气氛井式渗碳炉生产线必须具有自动充氮气系统，在断电、炉温低于760℃，炉内压力低于设定值时，能自动切断工艺材料供应并充入氮气保护。淬火槽应设置氮气灭火装置，安全氮气应符合JB/T 7530的规定。

10.1.2　安全联锁保护包括传感器、仪表、温度、碳势、气氛、冷却水、压力、机械动作等联锁控制，确保大型可控气氛井式渗碳炉生产线安全可靠运行。

10.1.3　在所有机械传动和电气接头裸露部分都应安装防护罩，防护罩有散热要求的还应设置通风孔。

10.1.4　在所有可能对操作人员造成伤害的部位，应根据各部位的特性，设置相应的防护和警示标记。

10.1.5　当设备发生故障或工艺参数超过报警极限、工艺材料停止供应等意外情况时，应能发出声光报警信号，并有自诊断和故障记录功能。

10.1.6　当有意外事故发生时，应有相应的安全保护措施，首先保护人员，其次是设备和工件的安全保护。设备说明书中应有详细的各种故障应对措施。

10.1.7　所有的工艺材料管路、接头、阀门等及涉及可能造成气氛泄漏的密封连接点，均应设置良好的密封装置，确保工艺材料和气氛密封良好不泄漏。

10.2　环境保护要求

10.2.1　可提供主要的工艺材料的MSDS，说明相关的危险化学品的燃、爆性能，毒性和环境危害，以及安全使用、泄漏应急救护处置、主要理化参数、法律法规等方面信息。应按工艺材料的特性，必须配置相应的消防装置。

10.2.2　通过废气燃烧排放装置，由自动点火烧嘴或通过液化气或丙烷气助燃方式充分燃烧后排放；回火炉油烟需经过处理符合标准后方可排放。清洗机回收废油需按固体废弃物处置，污水需经适当处理，达标排放。所有在生产过程中产生的废气、噪声及生产环境等应符合GB/T 15735、JB/T 8434的规定。

10.3　能耗要求

大型可控气氛井式渗碳炉生产线的能耗指标应符合GB/T 17358的规定。按平均每千克工件渗碳层的不同计算各自的耗电量；按平均每立方米炉膛体积计算工艺材料消耗量。大型可控气氛井式渗碳炉的电耗和工艺材料消耗（以氮甲醇+异丙醇为例）参考指标见附录A。

11　检验和试验

11.1　总体要求

大型可控气氛井式渗碳炉生产线及配套设备的检验应按GB/T 10067.1规定和以下补充条文进行。试验应按GB/T 10066.1和GB/T 10066.4规定和以下补充条文进行。在进行空炉试验时，炉罐、导风筒等起导风作用的构件应装入炉内，使炉气得以按设计要求循环。

11.2　出厂前检验

——外观检查；
——炉膛尺寸和工作区尺寸检查；
——各种仪表的校验；
——配套件的检查，包括型号、规格、出厂合格证件的检查；
——供货范围，包括出厂技术文件完整性的检查；
——包装检查。

11.3 出厂后检验和试验方法

11.3.1 额定功率的测量

在空炉状态下，按 GB/T 10066.4—2004 中 6.8 的规定进行测量计算。

11.3.2 绝缘电阻的测量

按 GB/T 10066.4—2004 中 6.5 的规定进行测量。

11.3.3 最高工作温度的测量

在空炉状态下，按 GB/T 10066.4—2004 中 6.9 的规定。

11.3.4 空炉损失的测量

在空炉状态下，按 GB/T 10066.4—2004 中 6.11 的规定进行测量计算。

11.3.5 炉温控制精度和炉温均匀性的测量

炉温控制精度和炉温均匀性的测量按 GB/T 9452 执行。测试温度以主控热电偶的读数为基准测定炉温控制精度和炉温均匀性。对多控温区大型可控气氛井式渗碳炉，各区的设定温度应相同。

11.3.6 碳势控制精度和碳势均匀性的测定

在气氛稳定的状况下，按 JB/T 10312 的规定，用定碳钢箔测定碳势控制精度。用剥层法或直读光谱法测定炉内各点试样的表面碳含量来确定碳势均匀性；测量点可按 GB/T 9452 的炉温均匀性测量点布置。

11.3.7 工件热处理品质检查

工件热处理品质检查按第 8 章的要求执行。

11.3.8 表面温升的测量

测量点应在炉壳、炉盖、炉顶板和操作手柄的任意点上，距热短路点 300mm 的范围外。

11.3.9 加热能力试验

当大型可控气氛井式渗碳炉在工作温度下的热稳定状态时，把质量（含料筐吊具）为该规格井式渗碳所规定的加热能力值的冷钢料装入炉内。装料后立即通电加热，按到工作温度时间计算。

11.3.10 安全联锁、动作试验

空炉通电状态下，水路、气路、液压和取气系统的检验，测试各联锁报警是否有效，机械动作是否可靠。热态试验后的检查。

附录 A
（资料性附录）
大型可控气氛井式渗碳炉电能损耗和工艺材料消耗参考值

表 A.1 大型可控气氛井式渗碳炉电能损耗和工艺材料消耗参考值

硬化层深度/mm	电能损耗/(kW·h/kg)	氮气消耗量/(m^3/kg)	甲醇消耗量/(L/kg)	异丙醇消耗量/(L/kg)
1.0	0.48	0.01	0.003	0.002
2.0	0.56	0.015	0.007	0.004

（续）

硬化层深度/mm	电能损耗/(kW·h/kg)	氮气消耗量/(m^3/kg)	甲醇消耗量/(L/kg)	异丙醇消耗量/(L/kg)
4.0	0.82	0.03	0.022	0.011
6.0	1.24	0.052	0.043	0.022

注：工艺材料消耗参考值按直径2.5m、深2.5m大型可控气氛井式渗碳炉实测数据平均计算，电能损耗按冷炉满载装工件进行核算。

第五节　可控气氛密封多用炉生产线热处理技术要求

一、概论

JB/T 10895《可控气氛密封箱式多用炉生产线热处理技术要求》在制定过程中，遵从了内容全面、技术先进、实用性强、数据可靠的编制原则。由于目前国内外尚无该类标准，现国内相关标准只有JB/T 8195.2—1999《间接电阻炉RM系列箱式淬火炉》。JB/T 8195.2—1999只是对传统的箱式淬火炉做了单个描述，偏重于设备制造，缺少工艺要求、质量控制检验、生产过程安全卫生要求、环境保护技术要求等方面的内容，现阶段已滞后于科技进步和生产发展的实际需求。

本标准在制定过程中，部分参考了国内外企业可控气氛密封箱式多用炉生产线的相关标准，并结合国内现状和未来技术发展方向，制定符合中国国情的可控气氛密封箱式多用炉生产线热处理技术要求。

在总结执行原机械行业标准JB/T 8195.2—1999《间接电阻炉RM系列箱式淬火炉》经验基础上，进行该标准的制定工作，同时对生产线的其他组成部分清洗机、回火炉、推拉车、准备台等技术内容进行了制定。

本标准根据各企业的发展需求和实际生产的需要，明确了可控气氛密封多用炉生产线的概念，规定了可控气氛密封多用炉生产线的使用范围。

根据可控气氛密封多用炉生产线的最新发展情况，明确了可控气氛密封多用炉生产线的组成、基本参数、技术条件、工艺要求、质量控制与检验等条款内容；指明了生产线本身防止突发事件时的安全措施及安全防护内容；考虑了生产线在生产过程中的安全环保因素。

二、标准应用说明

1. 主要内容

1）本标准规定了可控气氛密封多用炉生产线的术语和定义、生产线组成、生产线热处理技术要求、生产线热处理试验方法、在线热处理工件质量控制和检验、生产过程安全卫生要求和环境保护技术要求。强调了可控气氛密封多用炉生产线是由可控气氛密封多用炉、清洗机、回火炉、推拉车、准备台、操作系统、电气控制系统等组成的生产线。可在多种可控气氛下完成对钢件的渗碳、碳氮共渗、淬火、正火、清洗、回火等热处理工艺。对可控气氛密封多用炉生产线、清洗机、回火炉、推拉车、准备台等名称进行了定义。

2）对可控气氛密封多用炉生产线的品种和规格、型号、主要参数、工作条件、表面油漆、设计制造、性能要求、成套要求、试验方法等方面做了说明。

3）强调了生产线在生产过程中的工艺要求和质量控制检验要求。对可控气氛密封多用炉生产线气氛类型、处理工件材质要求、渗碳前工件要求、工件表面质量要求、装料、渗碳淬火、回火、卸料等进行了规定和说明。

4）强调了整条生产线生产过程安全卫生要求和环境保护技术要求。

2. 与原标准的主要差异及涉及知识产权的问题

该标准为首次制定，在本标准的制定过程中，部分参考了国内外企业关于可控气氛密封箱式多用炉生产线的相关企业标准。该标准水平达到国内先进水平，在标准的编制上不涉及版权问题，在技术内容上不涉及专利问题。

3. 与有关现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准应符合 GB 15735《金属热处理生产过程安全、卫生要求》和 JB 8434《热处理环境保护技术要求》。本标准应符合中华人民共和国环境保护法和中华人民共和国安全生产法。

4. 重大分歧意见的处理经过和依据

此标准原来的名称为《间歇式密封多用炉生产线热处理技术要求》，后爱协林热处理系统（北京）有限公司提出改为《可控气氛密封多用炉生产线热处理技术要求》。我们认真考虑认为，改后的名称更能体现多用炉的特点，符合现在各企业生产的产品现状。因此，我们将该标准的名称最终定为《可控气氛密封多用炉生产线热处理技术要求》。

5. 标准的作用和实施情况

目前我国热处理生产中，传统的老三炉还占有相当的比例，特别是在中西部地区，所占比例更高。与可控气氛炉生产线相比，传统设备在加工产品质量、环保节能、安全等方面有相当的差距，同时可控气氛密封箱式炉可进行光亮淬火、退火、渗碳淬火、碳氮共渗淬火、气体渗氮等多种工艺，而且自动化程度高、生产柔性大、适用性强，是热处理生产的主流发展方向。该标准的制定，必将大力推动可控气氛箱式炉的推广使用，也符合国家节能减排的政策。

6. 预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

可控气氛热处理是一项环境友好型的新技术，在欧美等发达国家已经得到广泛的应用，其节能、节材、环保等特点已经得到广泛的认可，是热处理技术发展的主要方向之一。据目前国内需求，可控气氛热处理可广泛应用到航空、航天、汽车、船舶、铁路、机械、工具等行业，采用此项技术后对于提升零件的处理质量、提高装配精度、提高使用寿命、节能等方面具有无可比拟的优势。该标准将有助于提升相关产业的技术发展水平，经济效益和社会效益显著。（江苏丰东热技术股份有限公司向建华供稿）

三、标准内容（JB/T 10895—2008）

可控气氛密封多用炉生产线
热处理技术要求

1 范围

本标准规定了可控气氛密封多用炉生产线的术语和定义、生产线组成、生产线热处理技术要求、生产线热处理试验方法、在线热处理工件质量控制与检验、生产过程安全卫生要求和环境保护技术要求。

本标准适用于可控气氛密封多用炉生产线（以下简称生产线）的热处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据该标准达成协议和各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 224　钢的脱碳层深度测定法

GB 5959.1　电热装置的安全　第1部分：通用要求

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定方法（GB/T 6394—2002，ASTM E 112：1996，MOD）

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 9451　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定（GB/T 9451—2005，ISO 4970：1979，MOD）

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1　电热装置的试验方法　第1部分：通用部分（GB/T 10066.1—2004，IEC 60398：1999，MOD）

GB/T 10066.4—2004　电热设备的试验方法　第4部分：间接电阻炉（IEC 60397：1994，NEQ）

GB/T 10067.1　电热装置基本技术条件　第1部分：通用部分

GB/T 10067.4—2005　电热装置基本技术条件　第4部分：间接电阻炉

GB 12348　工业企业厂界噪声标准

GB/T 12349　工业企业厂界噪声测量方法

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 16923　钢件的正火与退火（GB/T 16923—1997，eqv JIS B6911：1987）

GB/T 16924　钢件的淬火与回火（GB/T 16924—1997，eqv JIS B6913：1987）

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测量方法

JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火

JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度测试通则

JB/T 6141.3　重载齿轮　渗碳金相检验

JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气一般技术条件

JB/T 7710　薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件　显微组织检验

JB/T 8195.1—1999　间接电阻炉　RX系列箱式电阻炉

JB 8434　热处理环境保护技术要求

JB/T 9209　化学热处理渗剂技术条件

JB/T 10175　热处理质量控制要求

JB/T 10312　钢箔测定碳势法

JB/T 10457　液态淬火冷却设备　技术条件

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 10066.4、GB/T 13324中确定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　可控气氛密封多用炉生产线　controlled atmosphere sealing multipurpose furnace line

可控气氛密封多用炉生产线是由可控气氛密封多用炉、清洗机、回火炉、推拉车、准备台、操作系统、电气控制系统等组成的生产线。可在多种可控气氛下完成对工件的渗碳、碳氮共渗、淬火、正火、清洗、回火等热处理工艺。一般除装卸料工作外，整条生产线能自动运行。

3.2　可控气氛密封多用炉　controlled atmosphere sealing multipurpose furnace

具有密封加热室、冷却室、淬火油槽和供水平装卸工件用的炉门，在微小正压下，工件在炉内

可控气氛下完成渗碳、碳氮共渗、淬火、正火等热处理工艺的间歇式炉。

3.3 回火炉 tempering furnace

具有加热室，工件在炉内完成回火工艺的热处理设备。

3.4 推拉力 push-and-pull car

一种在轨道上作横向移动并推进、拉出工件的台车式装置。

3.5 准备台 lifter flat

存放工件的装置，可进行上升和下降动作。

3.6 碳势控制精度 control precision

可控气氛密封多用炉在试验温度下的热稳定状态时，碳势测定值与设定值的偏差。

3.7 碳势均匀性 carbon potential uniformity

可控气氛密封多用炉在试验温度下的热稳定状态时，炉内有效工作区内气氛碳势的均匀程度。通常指在规定的各个测量点上所测得碳势的最高值和最低值分别与碳势设定值的差值。

4 生产线组成

4.1 品种和规格

生产线按主炉加热方式分为电加热和燃料加热两类；按主炉加热室结构分为单门式和贯通式；按主炉加热室个数分为单加热室和双加热室等。

生产线按各组成设备的结构形式和最高工作温度分为多个品种，各个品种的生产线按工作区尺寸分多个规格。整条生产线的型号一般按照工作区尺寸和各组成设备的数量编制。

4.2 生产线各组成设备主要参数

生产线各组成设备主要包括可控气氛密封多用炉、清洗机、回火炉、推拉车、准备台等。其主要参数见附录A。

5 设计和制造要求

5.1 总体设计

5.1.1 可控气氛密封多用炉总体设计

a）应能与清洗机、回火炉、推拉车、准备台组成成套生产线。

b）可控气氛密封多用炉主要由炉体、驱动机构、控制柜等组成。

c）炉体主要由加热室和冷却室组成。设备在正常工作状态、正常流量情况下，加热室保持微小正压。加热室可设计成带有马弗或不带马弗。

d）冷却室包括淬火油槽、升降机和缓冷区，加热室和冷却室之间由一个衬有耐火绝热材料的中间门隔开。

e）炉壳要求气密性良好，在整个工作周期内，工件应受到控制气氛的有效保护。

f）冷却室应与加热室相连，尽量缩短距离，减少工件转移温降。淬火油槽位于冷却室的下部，油槽上面是停放工件的空间，缓冷区位于冷却室的上部（或侧部）。

g）可控气氛密封多用炉的温度、碳势和各段过程的工作时间由微机自动控制，工件按预先选定的程序进行处理，温度、碳势、时间可调节。

h）设备在处理工件时，相应操作之间应有互锁功能，确保设备安全运行。

5.1.2 清洗机总体设计

a）清洗机主要由机体、控制柜等组成。

b）清洗机为室式，前端设有供装出料用的炉门，在水平方向上应能装料和出料。

c）清洗机根据选用的清洗剂不同可分为水系清洗机和溶剂清洗机。

5.1.3 回火炉主体设计

回火炉主要由炉体、控制柜等组成。回火炉的工作温度应由温度仪表控制，工作过程时间应由定时器控制。

5.1.4　推拉车总体设计

a）推拉车主要由机体、操作柜等组成。

b）推拉车在水平方向上应能装料和出料。

5.1.5　准备台总体设计

a）准备台主要由机体、操作柜等组成。

b）准备台在水平方向上应能装料和出料。

c）准备台应能平稳升降，并能准确定位。

5.2　炉壳

可控气氛密封多用炉、清洗机、回火炉的外壳均采用钢板制成，用型钢加固，应焊接成一个气密性良好的整体。所有油槽、清洗槽焊接处及水、气、油管路连接处不得有渗漏现象。

5.3　炉衬

可控气氛密封多用炉加热室的炉衬应采用抗渗碳耐火材料和轻质保温材料构成；回火炉炉衬采用耐火材料和轻质绝热材料构成。采用抗渗碳耐火砖的炉墙灰缝应≤1.5mm。炉衬的结构和厚度应保证满足炉体表面温升的要求。

5.4　炉底

炉底的设计应能使炉内气氛在整个工作区内有良好的循环流动性。炉底应能在最高工作温度下承受最大装载量而不至于产生永久性变形。

5.5　炉门

炉门启闭方式应便于操作，由气动、液压、气-液压或电动驱动。炉门在关闭时应保持良好的密封性，并在最高工作温度下正常工作且不得产生变形。

5.6　火帘

非贯通式可控气氛密封多用炉冷却室的前门及贯通式可控气氛密封多用炉进、出口下面设有引火烧嘴及火帘。当炉门打开时，火帘应能通过限位开关和电磁阀的联动等方法被引火烧嘴的明火自动点燃。炉门开启开关和封门气体电磁阀之间应有联锁，只有当引火烧嘴有明火时，炉门才能打开。火帘高度应能保证减少空气进入，确保安全的进出炉操作。

5.7　加热元件

可控气氛密封多用炉的加热元件可以用电辐射管、燃气辐射管或硅钼棒等；淬火油的加热元件是电加热管；清洗机中清洗剂的加热元件是电加热管；回火炉加热元件为电阻丝加热器、电加热管或燃气加热器，当采用电阻丝加热时一般应配有电子调功器。

5.8　风扇

可控气氛密封多用炉和回火炉应配备搅拌风扇，风叶用耐热钢制成，并经过动平衡试验调整，风扇轴应用水、油或空气冷却。

5.9　可控气氛密封多用炉的油淬系统

淬火油槽的结构、容积、加热、冷却系统，安全卫生设施应满足JB/T 10457的规定。

5.10　可控气氛密封多用炉的缓冷区

缓冷区至少应有两个面受到油冷或水冷。油冷时，可用从热交换器来的循环淬火油，通过装在缓冷区内壁上的冷却套进行冷却。水冷时所有水套或蛇形管都应设于冷却室的外壁上。缓冷区应能承载从加热室来的最大载荷，并能在整个冷却过程中对炉料进行气氛保护。缓冷区可配有低速风扇，用以使气流在工作区内循环，提高均匀性。

5.11　可控气氛密封多用炉的炉料转移系统

可控气氛密封多用炉内的工件转移系统，应能按选定的程序转移工件。可采用外驱动方式，也可采用内驱动方式。对于采用内驱动方式，可以采用冷链内驱动，也可采用热链内驱动。工件转移系统和升降机及炉门联锁，只有当炉门打开时，工件转移系统才能进行工作。工件转移速度应以控制温降、满足工艺要求和确保可靠性为前提。

5.12　清洗机的清洗室

清洗机的清洗室内装有喷嘴，清洗液槽内装有供清洗液加热升温用的管状加热器，对工件实施喷淋、烘干等处理。有加热、循环、油回收、液位自动控制等系统。

5.13　推拉车

推拉车的传动应平稳，无异常声响。

5.14　准备台

准备台的升降机构应能保证滚轮上表面上升到位后与推拉车的滚轮上表面高度相同，在台前应安装推拉料车横向移动的定位装置。

5.15　控制及操作柜

控制柜为立柜式前开门结构，标准配线方式为底进底出，防护等级应在IP54以上，各控制柜应能独立进行控制，每台设备配备一个控制柜，可以集中放置，也可以放置在设备旁。

操作盒（面板）必须放置在设备附近，主要完成工件的转移功能，操作应能进行手动和自动，无论手动还是自动，各状态应能互锁，保证设备安全运行。

5.15.1　过程值控制

使用温度程序控制器，采用电子调功器，对温度进行精确控制，保证炉内的温度控制在适当的状态。

使用碳势程序控制器，采用电磁阀“ON-OFF PID”或比例阀“SCR-PID”控制方式对碳势进行精确控制，保证炉内的碳势控制在适当的状态。

5.15.2　程序控制

将待处理的工件送到炉内时，便自动开始程序控制，使工序自动进行，完成工艺全过程。

5.15.3　安全报警

当可控气氛密封多用炉的温度降到危险温度时，应发出停止可燃气体报警（工件刚进加热室有加热电流时除外）；当可燃气体停止通入时，应发出报警；当可控气氛密封多用炉和回火炉及清洗机的温度超过设定温度上限时，应发出过热报警，同时采用切断加热电源等安全措施。

5.16　测量、控制和记录

5.16.1　热电偶

热电偶应符合GB/T 10067.4—2005中5.2.9的规定，热电偶引出线或补偿导线的长度应尽可能短，或采取相应的补偿措施。

5.16.2　温度仪表

温度仪表、热电偶、热电阻、补偿导线等应达到设计要求。

5.16.3　碳势仪表

主要采用氧探头为碳势传感元件的碳势控制方式，控制方式主要为“ON-OFF”（开关）PID或SCR（连续）-PID调节方式。

5.16.4　记录仪

主要采用长图式有纸或无纸数字记录仪，应能自动连续记录炉内温度、炉内碳势与淬火油温度等参数的变化。

5.16.4.1　防爆温度计

采用专门的温度控制器，带上下限报警，上限温度停止加热、下限温度停止可燃气体的通入。

5.16.4.2　程序控制

可控气氛密封多用炉配备二路程序控制器，一路实施动作控制，一路对炉内温度、气氛、时间等热处理工艺参数进行控制。可进行编程，并按所编程序自动控制工件转移、加热、渗碳和淬火等的全部过程。动作程序系统能根据设定的各周期时间自动执行。各个周期程序之间应互相联锁。程序一经选定，控制系统能按程序自动运行。有异常情况应能报警，除自动控制方式外，还应配备手动控制方式，供试验或异常情况下使用。

6　生产线技术要求

生产线应符合 GB/T 10067.1 和 GB/T 10067.4—2005 中 5.3 及后述各项要求。

6.1　工作温度

6.1.1　可控气氛密封多用炉工作温度

除另有要求外，可控气氛密封多用炉的最低工作温度为 800℃，最高工作温度为 950℃。

在工作温度范围内，可控气氛密封多用炉应满足 6.4 和 6.5 的要求。

6.1.2　清洗液温度

清洗液温度一般为 50～90℃。采用溶剂清洗机，工作温度可在供需双方合同中约定。

6.1.3　回火炉工作温度

回火炉的工作温度一般为 150～650℃。其他工作温度要求可在供需双方合同中约定。

在工作温度范围内，回火炉应满足 6.4 和 6.5 的要求。

6.2　最大装载量

按企业产品标准的规定，也可按订货技术要求执行。

6.3　加热能力

把规定重量的冷钢料装进处于试验温度热稳定状态下的加热室中，加热室的温度应能在 1h 内回升到初始温度。

加热能力应按企业产品标准的规定，但应不小于 500S，kg（1h），其中 S 为工作区底面积，单位为 m^2；可控气氛密封多用炉相应的试验温度为 850℃。

6.4　炉温均匀性

可控气氛密封多用炉炉温均匀性要求为 A 级炉：±10℃；B 级炉：±8℃；C 级炉：±5℃。

回火炉炉温均匀性要求为 A 级炉：±10℃；B 级炉：±8℃；C 级炉：±5℃。

6.5　炉温控制精度

可控气氛密封多用炉炉温控制精度为 A 级炉：±4℃；B 级炉：±2.5℃；C 级炉：±1℃。

回火炉炉温控制精度为 A 级炉：±4℃；B 级炉：±2.5℃；C 级炉：±1℃。

6.6　空炉升温时间

按企业产品标准的规定，也可按 GB/T 10066.4—2004 中的 6.7 或 JB/T 8195.1—1999 中的 5.3.6 执行。

6.7　空炉损失

按企业产品标准的规定，也可按 GB/T 10066.4—2004 中的 6.7 或 JB/T 8195.1—1999 中的 5.3.6 执行。

6.8　表面温升

加热室的表面温升应不超过 50℃。

6.9　碳势控制精度与碳势均匀性

碳势控制精度为 ±0.05% C，碳势均匀性为 ±0.1% C，也可按产品标准的规定或由供需双方商定。

6.10 其他

生产线其他方面的性能应分别符合本标准的第 5 章，以及在企业产品标准和供货合同中的相应规定。

7 生产线热处理技术要求

7.1 一般要求

组成生产线的设备应符合 GB/T 10067.4—2005 中第 5 章的规定，与本标准有差异时，以本标准为准。

7.2 工艺要求

可控气氛密封多用炉的气氛应符合 JB/T 9209，JB/T 7530 的要求，根据用户的具体情况，渗碳气氛可以通过以下几种常用制备载气气氛（再添加富化气）的方式获得：

——有机液体裂解气氛；

——氮-甲醇裂解气氛；

——放热式气氛；

——吸热式气氛；

——直生式气氛；

——其他。

炉内不论采用何种气氛，气氛碳势应能调节。气氛碳势测定按 JB/T 10312 执行。在可控气氛密封多用炉的加热室应设置相应的钢箔定碳孔装置和炉内气氛取样口。

7.3 工艺规范

可控气氛密封多用炉生产线的热处理工艺规范按 JB/T 3999、GB/T 16923、GB/T 16924 规定和以下补充条文进行。

7.3.1 生产线处理工件要求

7.3.1.1 工件材质要求

应提供处理工件的牌号和化学成分，工件材料的化学成分等要求应符合有关标准规定。

7.3.1.2 渗碳前工件要求

渗碳前工件的机加工或预备热处理方法应规范合理。防渗部位的防渗措施应得当。

7.3.2 工件表面质量要求

渗碳处理工件的表面应清洁，去除氧化皮和铁锈，无裂纹、伤痕等缺陷。

入炉前，工件表面应去除油污、污物、切屑等污染物并烘干。

工件表面水分不能带入到密封箱式炉中。

清洗过程中不能对工件表面产生有害影响。

待处理的渗碳件要经过验收。

7.3.3 装料

在有效工作区范围内，根据工件的形状、尺寸、重量及对畸形的要求，设计使用合适的工装夹具及装料方式，以保证可控气氛密封多用炉加热室炉气循环良好。待处理的渗碳件要经过验收。

7.3.4 渗碳淬火

根据工件的材质、技术要求，制定相应的工艺参数。通过试件的生产，检查确定渗碳工艺参数和过程控制，再投入批量生产。定碳试件碳势检查按 JB/T 10312 规定进行。

7.3.5　回火

工件经渗碳淬火后，一般需经过清洗，然后检查表面硬度，再进行回火处理。通常要求淬火后及时回火。

7.3.6　卸料

检查渗碳层的硬度等技术指标，合格后卸料。

8　生产线热处理试验方法

8.1　一般要求

可控气氛密封多用炉和回火炉的试验按 GB/T 10066.1 和 GB/T 10066.4 的相应条文和以下补充条文进行。

8.2　炉温均匀性和炉温控制精度的测量

按 GB/T 9452 的规定执行。

对于最高工作温度为 950℃的可控气氛密封多用炉，炉温均匀性和炉温控制精度试验分 800℃、850℃、900℃选择进行。

回火炉的试验温度分 200℃、300℃、400℃、500℃进行。

试验应在炉内处于自然气氛的条件下进行。

通常有效加热区的炉温均匀性和炉温控制精度的测定是在空载情况下测定，如果须满载测定，供需双方须在合同中注明。

8.3　表面温升试验

表面温升的测量和计算应符合 GB/T 10066.1 和 GB/T 10066.4 的要求。

用表面温度计测量炉子最高工作温度下的热稳定状态时炉体外表面指定范围内测量点的温度与环境温度之差，即表面温升。测量点应在炉壁两侧。

8.4　加热能力试验

最高温度为 950℃的可控气氛密封多用炉在炉内处于 850℃的热稳定状态下，用符合规定重量的冷钢料（包括工装重量）装进加热室中，记录加热室内温度回升到 850℃的时间，应符合 JB/T 8195.1—1999 中 6.4 的要求。

回火炉在炉内处于 550℃的热稳定状态下，用符合规定质量的冷钢料（包括工装重量）装进回火炉中，装料后，立即再通电加热，炉温回升到 550℃的时间不大于 1h。

8.5　碳势均匀性测量

在保证炉内碳势稳定的状态下，在炉内工作区内规定的九个测量点上进行渗碳试验，用低碳钢材料试样在炉内保持 6h 以上，淬火后出炉，用剥层定碳或光谱分析的方法测量试样表面碳含量，测得试样表面碳含量的最高和最低值与碳势设定值的差值。测量点分别位于工作区的八个端角和工作区中心。

8.6　炉料转移试验

装料运行试验一般在用户现场进行，工件的材料、形状、尺寸和放置方式等由供需双方协商，工件由用户提供，把加热室温度升到最高工作温度，将重量等于最大装载量的工件进行进、出料操作并选用自动程序、手动操作重复上述试验。

8.7　额定功率的测量

在设备内无工件情况下，当温度将达到最高工作温度而温度控制尚未起作用时用功率表测量。测量结果应按 GB/T 10066.4—2004 中 6.8 公式（2）进行折算。

8.8　最高工作温度

在设备内无工件情况下用设备本身配备的温度仪表测量。

8.9　淬火油系统的试验

8.9.1　油槽加热能力试验

在正常室温、规定油量状态下，接通油加热系统，检测油温升到规定温度的时间，应符合5.7.9要求，在6h内能使淬火油的温度从20℃升高到150℃。

8.9.2　油槽冷却系统能力试验

重量等于最大装载量的工件在最高工作温度下进入油槽内淬火，在工件出炉后，淬火油的温度应能在2h内恢复到淬火前油温。

8.10　火帘点火试验

本试验在可控气氛密封多用炉冷态调试结束后进行。

在点火器没有明火的情况下操作炉门，这时，炉门应不能打开。

在点火器有明火的情况下操作炉门，这时，炉门应被打开，同时火帘于整个火帘管长度方向上被点燃。

火帘高度应能用阀门进行调节，火帘高度应能保证减少空气进入，确保设备安全操作。

9　生产线可靠性要求

9.1　生产线故障分类

一类故障——在生产中发生必须停炉降温检修的故障。

二类故障——在生产中炉内发生可在不影响生产的情况下迅速修复的故障。

三类故障——在生产中发生属于电器元件质量、安装不牢固或运行不顺畅等只需稍作紧固或调整即可解决的故障。

对易耗品的正常损坏和更换不视为故障。

9.2　生产线可靠性指标

9.2.1　一年内不得出现因设备设计制造不当造成的一类故障（不包括因操作维护不当或易损件提前失效等造成的停炉故障）。

9.2.2　六个月内不得出现因设备设计制造不当造成的二类故障（不包括因操作维护不当或易损件提前失效等造成的停炉故障）。

9.2.3　一个月内三类故障不得超过三次（不包括零部件异常失效等造成的停炉故障）。

9.2.4　生产线加热元件的寿命不低于一年。

9.2.5　加热炉炉衬大修期不少于四年。

10　生产线电耗

生产线的加热、淬火、回火等的电耗应符合GB/T 17358中的规定。

11　在线热处理工件质量控制与检验

11.1　质量控制

热处理质量控制按JB/T 10175规定及后述补充条文进行。

11.2　检验项目及方法

11.2.1　外观

工件表面无碰伤、裂纹、锈蚀。采用目测的方法，必要时可以使用放大镜检查。

11.2.2　硬度

表面硬度和心部硬度应符合工件的技术要求，偏差值应符合JB/T 6050规定。

11.2.3　金相组织

金相组织应符合工件的技术要求。

晶粒度测量按GB/T 6394规定进行。表面脱碳检测按GB/T 224规定进行。

薄层渗碳金相组织评定按 JB/T 7710 规定执行。

重载齿轮金相组织评定按 JB/T 6141.3 规定执行。

其他金相组织的检测按有关标准进行评定。

11.2.4　硬化层深度

硬化层深度应符合工件的技术要求。

硬化层深度的测定方法按 GB/T 9450，GB/T 9451 规定执行。

其偏差值应符合 JB/T 3999 的规定。

渗碳层深度的测定通常采用硬度法，也可以用金相法。

11.2.5　工件畸形

采用相应的检具，对零件的外形尺寸进行测量。处理后的工件畸形应符合工艺规定的技术要求。

12　生产过程安全卫生要求

生产线的生产装置、安全卫生防护技术措施，安全卫生管理措施等应符合 GB 15735、GB 5959.1 的规定。

12.1　整条生产线运行中所有相关动作都应设置电气安全联锁装置和相关程序互锁。特别是炉内搅拌和加热互锁；油槽搅拌和工件淬火互锁；工件推拉动作和前门、中门、升降机动作互锁等。

12.2　可控气氛密封多用炉加热室和淬火油槽应设置两根热电偶，一根热电偶控制温度，一根热电偶接记录仪和异常报警。

12.3　可控气氛密封多用炉加热室、冷却室和回火炉应设置快速充氮装置。可控气氛密封炉冷却室应设有防爆装置，前门应设防护装置。

12.4　炉膛温度低于 750℃时不得向炉内通入可燃气体（工件刚进加热室有加热电流时除外），温度控制和流量计控制程序联锁。

12.5　在结冰天气或长时间停炉时，应注意排放管路中的残水，以防止冻坏部件及管道。

12.6　在所有机械传动裸露部分和电器接头裸露部都应安装防护罩，并设通风孔。

12.7　炉顶周围应设置脚踏板，方便操作人员炉顶工作。

12.8　炉体应设置固定扶梯。

12.9　当设备发生故障或工艺参数异常时，应能发出声光报警信号。可采用故障自诊断系统和远程监控系统，及时排除故障和修复工艺系数。

12.10　当生产场所发生停电、停气等意外事故时设备上应有相应的安全措施，以保护设备及工件等的安全。操作人员上岗前应进行必要的安全培训，持证上岗。

12.11　在所有可能造成人员伤害的地方设置警告牌。

12.12　化学危险品专用仓库应设置明显标志。化学危险品专用仓库的储存设备和安全设施应当定期检测。

12.13　生产场所的噪声控制应符合 GB 12348、GB/T 12349 的规定，作业场所的噪声不得超过 85dB。

13　环境保护技术要求

13.1　整条生产线所有管路均不得有泄漏现象。

13.2　可控气氛密封多用炉废气燃烧后向大气排放，应符合 JB 8434—1996 的 4.1.2.3 要求。

13.3　回火炉排烟罩出口设有除油烟装置，应符合 JB 8434—1996 的 4.1.2.1 要求。

13.4　清洗机应配备油水分离装置或废溶剂回收再生装置，应符合 JB 8434—1996 的 4.2.4 的要求。应采用环保型的有机溶剂作为清洗剂，不应采用三氯乙烯等对臭氧层产生破坏的有机溶剂作为清洗

剂。

13.5　生产线应采用节能、环保的绝热材料。

附　录　A
（规范性附录）
生产线各组成设备主要参数

表 A.1　生产线各组成设备主要参数

主　要　参　数	生产线各组成设备				
	可控气氛密封多用炉	清洗机	回火炉	推拉车	准备台
电源电压，单位为 V	✓	✓	✓	✓	✓
电源频率，单位为 Hz	✓	✓	✓	✓	✓
相数	✓	✓	✓	✓	✓
控制电压，单位为 V	✓	✓	✓	—	—
额定功率，单位为 kW	✓	✓	✓	—	—
加热功率，单位为 kW	✓（加热室）	✓（清洗槽）	✓	—	—
油槽加热功率，单位为 kW	✓	—	—	—	—
加热元件类型和接法	✓	✓（接法）	✓（接法）	—	—
工作温度，单位为℃	✓	✓（清洗）	✓	—	—
工作区尺寸，单位为 mm	✓	✓	✓	✓	✓
操作标高，单位为 mm	✓	✓	✓	✓	✓
最大装载量，单位为 kg	✓	✓	✓	✓	✓
加热能力，单位为 kg(1h)	✓	—	✓	—	—
空炉升温时间，单位为 h	✓	—	✓	—	—
炉温控制精度，单位为℃	✓	—	✓	—	—
炉温均匀性，单位为℃	✓	—	✓	—	—
空炉损失，单位为 kW	✓	✓	✓	—	—
表面温升，单位为℃	✓	—	✓	—	—
碳势控制精度，单位为%C	✓	—	—	—	—
碳势均匀性，单位为%C	✓	—	—	—	—
淬火油量，单位为 m^3	✓	—	—	—	—
适用气氛和气体(或液体)耗量，单位为 Nm^3/h(或 kg/h)	✓	✓（气体）	—	—	—
循环水用量，单位为 m^3/h	✓	✓	✓	—	—
重量，单位为 t	✓（炉体）	✓（炉体）	✓	✓（设备）	✓（设备）
外形尺寸，单位为 mm	✓（炉体）	✓（炉体）	✓（炉体）	✓（设备）	✓（设备）
清洗槽容积，单位为 L	—	✓	—	—	—

注：当设备通过变压器或调压器供电时，应另标出额定电压或工作电压。

第六节　节能热处理燃烧加热设备技术条件

一、概论

金属材料和机器零件热处理的加热消耗大量电能和燃料。据统计，机械工业热处理用电占总用电量的25%以上。中国热处理行业协会2010年制定“十二五”行业规划时估算，热处理全年电耗为230亿kW·h占全国电耗的0.55%，称得上是用电大户。由于我国资源状况及发展历史原因，当前的热处理设备90%用电，用气体和液态燃料加热炉不到10%。

因为电是二次能源，用燃料发电的效率最高不超过40%，所以用电阻炉加热的综合热效率最高只能达约30%，充分利用燃烧废热的节能燃料炉的综合热效率能达到65%～70%。因此，美国和日本等发达国家的热处理燃烧炉比重较大。日本的热处理炉40%用燃料，美国燃料炉占30%。美国多用天然气，日本多用重油。这就是像日本这样严重缺乏石油、天然气资源的国家也大量使用燃料炉的原因。日本在20世纪70年代受到由中东战争引发的国际能源危机打击，迫使他们下大功夫研发推广了一系列电阻炉和燃料炉的节能技术，制定了一系列工业炉窑加热的法律、法规和标准，要求企业严格执行，使日本热处理的能源利用迅速达到国际先进水平。

我国改革开放以来，由于天然气的大规模勘探、开发和西气东输的实现，国家已开放天然气的部分工业应用，热处理用天然气的燃烧炉有逐步增加趋势，估计在10年内有增到20%的可能性，意味着耗电46亿kW·h的加热炉用天然气作燃料。研发和推广充分利用燃烧废热和使燃料充分燃烧的节能热处理加热炉的意义重大。

燃料炉的节能潜力很大，其燃烧废热的利用应视为节能的最强有力手段。因此，所有热处理的节能燃料炉都必须做到废热的充分利用。其次应减少散热损失，合理控制燃烧比，采用结构先进合理燃烧器和辐射器，以及正在研发的气体燃料热化学重整技术在燃料炉上的应用。这些都是节能燃烧炉应具备的技术条件。

1. 减少炉子热损失

和电阻炉一样，燃料炉也有通过炉衬外表面和孔隙向外散热的热损失问题。减少其热损失的措施有：

1）提高炉子密封性，炉壁尽量少开孔洞，炉门应保证关闭严实。

2）尽可能采用轻质泡沫耐火砖，最好用陶瓷纤维炉衬，以减少炉衬蓄热，提高炉子升温速度，提高炉衬隔（绝）热能力，减少向外散热。

2. 合理控制空气/燃料混合比

燃料燃烧时，应通以空气系数$\alpha>1$的过量空气。空气不过量，不能保证充分燃烧；空气太过量，不参与燃烧的空气多，进入过多冷空气也会降低燃烧效率。节能的燃料炉合理的燃烧比应控制到$\alpha=1.1\sim1.2$。当代最先进的燃烧炉已配备有自动控制燃烧比的电子系统。

3. 燃烧废热利用

1）最有效的利用燃烧废热措施是利用烟道气预热空气。用来燃烧的空气预热温度越高，燃烧效率越高，节约燃料越多。提高空气预热温度的副作用是会向大气排放更多的有害气体NO_x。近几年新研发的烟气循环燃烧器可降低NO_x量，使空气预热温度达到800℃。利用高效热交换器、高效可预热空气燃烧器和辐射管，可节省20%～30%的燃料。

2）废热多次利用。利用渗碳炉排出的废气对工件进行500℃加热的燃烧脱脂。脱脂炉废气用于渗碳淬火件低温回火的加热。淬火油的热用来加热清洗碱液和漂洗温水，可回收40%～60%的

淬火油热量。

4. 先进的燃烧器和辐射管

1）交替燃烧、蓄热-再生式燃烧器。其主要特点是高效预热空气。用热交换器预热空气会受到热交换面积、预热空气上限温度及换热金属表面氧化的限制。蓄热-再生式燃烧器是克服这些限制的最好方案。两个燃烧器依靠换向阀使蓄热和再生燃烧交替进行。交替周期用计算机控制到20s。蓄热材料采用陶瓷球或蜂窝状陶瓷块。

2）空气交替预热、单管蓄热-再生式辐射管。其两端都设有可预热空气的陶瓷吸热床，用计算机控制蓄热-交替燃烧20s的周期。热效率高，使用寿命长。

3）高循环再生燃烧辐射管。该辐射管由日本工业炉协会1998年研发。其特点为空气喷孔偏心设置，空气和燃气循环流速高，还可使烟道气回流，降低NO_x。

5. 气体燃料的热化学重整

这是一种尚在研发、未获实际应用，但已证实是一种用在燃烧加热炉很有节能潜力的未来技术。利用废热、水蒸气和CO_2使燃料重整为$C_mH_n + CO + H_2$的可燃混合气体。如果原始燃料是天然气，利用此技术就可使其热值提高28%，从而提高整体燃烧系统效率，减少温室气体排放。燃料重整过程还会吸收废气显热而被预热。

二、标准应用说明

1. 制定标准的依据

本标准是首次制定，其主要技术内容与GB/T 17358《热处理生产电耗计算和测定方法》、GB/Z 18178《热处理节能技术导则》、GB/T 19944《热处理生产燃料消耗计算和测定方法》相配套，与GB/T 5623《产品电耗定额制定和管理导则》等标准相协调。本标准按照国家《节能法》中关于能源开源节流制定，是我国热处理行业贯彻《节能法》的标准技术文件，可作为企业热处理生产和技术改造的依据。

2. 标准的主要内容

本标准适用于燃烧天然气、液化气、重油、轻油的热处理加热炉的研发、设计制造和合理选用。标准的主要技术内容为：

1）规定应该达到的能源利用率指标。

2）规定燃烧空气过剩系数范围。

3）规定利用废热的预热空气所达到的温度范围。

4）规定燃烧炉温度控制应达到的精度和有效加热区的温度均匀性。

5）规定燃烧器、辐射管技术要求（热效率、燃烧温度、空气-燃料混合均匀程度），废气中的NO_x限量等以及按性能数据的分等。

6）对预热空气的换热器技术要求。

7）对燃烧炉的环保技术要求。

3. 技术条件的具体规定

1）热效率是加热炉能源利用的综合最强指标。考虑到我国企业使用燃料炉时间短，欠缺经验，规定了较低的热效率底线（30%）。以后随着设备制造和利用技术的进步，可逐步修订提高。

2）炉子燃烧时，保持1.05～1.2的空气过剩系数是经过努力才能达到的，而且需配置完善的自动控制系统。如此规定的出发点是希望引起大家对燃烧控制的重视。

3）规定了燃料炉必须配备利用烟道气热量预热空气的热交换器。空气预热温度未做具体规定，一般应视300℃为底线。从节省燃料角度，预热温度越高越好，但受到热交换材料耐热度限

制，温度高也会提高燃烧产物中的 NO_x。因此，要保证燃气中的 NO_x 在允许限度以下。

4）在使用燃烧嘴的开式燃烧炉中应尽可能选用高速烧嘴，以保证按 GB/T 9452 达到各等级炉子温度均匀性要求。

5）为减少通过炉衬的散热损失，提高炉子升温速度，要求尽可能采用陶瓷纤维或轻质泡沫耐火砖炉衬。

6）通气氛的燃烧炉尽可能采用有蜂窝状蓄热快的蓄热-燃烧再生式辐射管，促使能源利用率逐步达到 80% 的最高目标。

7）提出了鼓励利用燃烧炉和附属设备的废热多次利用措施，力求做到最大程度的废热利用。

8）提出了对燃烧炉的环保要求，主要是燃烧产物中的 NO_x，还应注意到尽可能用天然气做燃料，因为天然气燃烧产生的温室气体在所有燃料中是最少的。

4. 附录

为帮助使用本标准企业深刻理解标准条文的具体内容和规定，在标准正文后设附录。其内容为：

1）各种燃料燃烧时的 CO_2 排放量。

2）各类燃料炉的炉底热强度。

3）单位质量工件的燃料消耗和单位热消耗参考数据。

4）过剩空气系数和燃烧温度、烟气带来热损失及节约燃料的关系。

5）预热空气温度和节约燃料的关系。

6）直燃式高速烧嘴。

7）燃烧辐射管类型及特性。

8）蓄热再生式燃烧器和辐射管。

9）陶瓷纤维毡炉衬的散热损失和炉壁外表面温度。

10）影响烟道气 NO_x 含量的因素。（北京机电研究所樊东黎供稿）

三、标准内容（GB/T 21736—2008）

节能热处理燃烧加热设备技术条件

1　范围

本标准规定了用于金属热处理加热的高效燃烧设备的必备技术条件。

本标准适用于气体和液体燃料为能源的高效热处理加热设备。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

GB/Z 18718　热处理节能技术导则

GB/T 19944　热处理生产燃料消耗计算和测定方法

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324、GB/Z 18718 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　一次能源　primary energy

直接从自然界获得，而且可以直接应用的燃料或动力。一般指煤炭、石油、天然气等化石燃料以及水力能。

3.2　二次能源　secondary energy

通常指一次能源经过加工制得，使用更方便、价值更高的能源，如汽油、柴油、煤气和电力等。

3.3　温室气体　greenhouse gases

太阳热辐射穿透大气，使地表温度升高。地表热能以长波方式向外辐射。此辐射又被大气中的二氧化碳和水蒸气吸收，使大部分长波辐射能被阻留在地表和下层大气，形成温室效应，造成全球性危害。大气中的二氧化碳和水蒸气被称为温室气体。

3.4　热值　calorific value

单位质量（或体积）的燃料完全燃烧时放出的热量，有高热值和低热值之分。高热值是燃料燃烧热和水蒸气冷凝热的总和（燃烧总热值）；低热值是燃烧总热量减去冷凝热的差数（只是燃料的燃烧值）。固体和液体燃料的热值以 kJ/kg 表示，气体燃料的热值以 kJ/m^3 表示。

3.5　燃料炉热利用系数　heat utilization coefficient

保留在炉膛内热量与所有输入炉内热量的比值（空炉测量或计算）。

3.6　炉子热效率　furnace calorific efficiency

加热工件的有效热量和所用燃料低热值的体积分数。

3.7　单位热耗指标　specific heat consumption

加热 1kg 金属所需热量，一般以 kJ/kg 表示。

3.8　离炉烟气　exhaust fume

燃料炉排出炉外，带有大量热的燃烧气体产物。

4　燃料的选择

4.1　液体（重油、柴油）和气体（天然气、液化石油气）燃料从能源利用率角度比用电高。因地制宜，适当地提倡热处理炉用燃料加热从节能和降低生产成本考虑是可取的。

4.2　在所有燃料中用天然气最便宜和方便。天然气又是产生温室气体最少的燃料（见附录 A 表 A.1）。在天然气供应充足的地区，热处理能源应优先选择天然气。

4.3　用煤直接燃烧加热对环境危害大，炉温不易控制，且不符合煤的综合利用原则，不提倡煤作为热处理能源。

4.4　用电比用燃料简便，温度容易控制，在水电、核电资源丰富，电价较便宜地区，用电作为热处理能源也是一种正确选择。

5　热处理炉型选择

5.1　根据各种炉型的炉底热强度指标计算燃料消耗（见附录 A 图 A.1 及表 A.2）作为选择燃烧加热炉的依据之一。

5.2　根据各种炉型的工件单位热耗指标（见附录 A 表 A.3、表 A.4、表 A.5）作为选择燃烧加热炉的依据之二。

6　节能热处理燃烧炉的必备条件

6.1　燃料炉的热效率必须保证在30%以上。

6.2　燃料炉正常燃烧的空气过剩系数应控制在1.05～1.20范围（见附录A图A.2、图A.3及表A.5）。

6.3　燃料炉必须配备利用离炉烟气废热的空气预热器，空气预热温度应符合表1要求（见附录A图A.4），其结构原理参见附录A图A.5。

6.4　燃料炉开式燃烧器推荐用高速烧嘴见附录A图A.6，以提高炉温均匀性。其炉温均匀性应达到GB/T 9452中热处理炉按保温精度分类及其技术要求的规定。

6.5　热处理燃料炉应采用轻质耐火绝热炉衬，以减少炉子蓄热和散热损失（见附录A图A.9）。炉子外壁温升不应超过50℃。

6.6　热处理燃料炉推荐采用配备蜂窝蓄热再生式空气预热的双向交替工作烧嘴和辐射管（见附录A表A.6、图A.7、图A.8），力图使能源利用率达到80%以上。

6.7　采用离炉烟气废热多次利用措施，除用于较低温度热处理设备外，尚可用于清洗、烘干等辅助工序，以及蒸汽锅炉、洗浴、烹饪等生活设施。

7　燃烧炉的环境保护、安全卫生要求

7.1　燃料的安全使用应满足GB 15735关于易燃易爆物注意事项和人员健康影响的规定。

7.2　提高燃料炉空气预热温度的节约燃料效果显著（见表1和附录A图A.4）。但在提高温度的同时，必须采取有效措施（见附录A图A.10～图A.12），以保证离炉烟气中的NO_x不超过GB 15735规定的限量。

表1　规定的空气预热温度和燃料节约效果

烟气温度/℃		800			1000		1200			
规定的最低空气预热温度/℃		300			400		500			
空气预热温度/℃		200	300	400	200	400	200	400	500	600
节约燃料体积分数（参考值）(%)	发生炉煤气	9.0	12.5	14.0	10.5	18.8	12.50	22.0	25.1	28.2
	重油	7.7	11.5	15.3	9.2	18.2	11.10	21.8	25.8	29.8

附　录　A
（规范性附录）
燃料燃烧的各种指标

A.1　燃料燃烧的各种指标见表A.1～表A.6及图A.1～图A.12。有关热处理工艺的分类的规定，应符合GB/T 12603的要求。有关电能消耗及燃料消耗的计算应符合GB/T 17358及GB/T 19944的要求。

表A.1　各种燃料燃烧时排出的CO_2量

燃料	产生41900kJ(10000kcal)热时的CO_2排出量/kg	以天然气作为100时的指数	燃料	产生41900kJ(10000kcal)热时的CO_2排出量/kg	以天然气作为100时的指数
天然气	2.11	100	A型重油	2.95	140
液化气	2.43	115	C型重油	2.98	141
煤油	2.81	133	煤	3.98	189

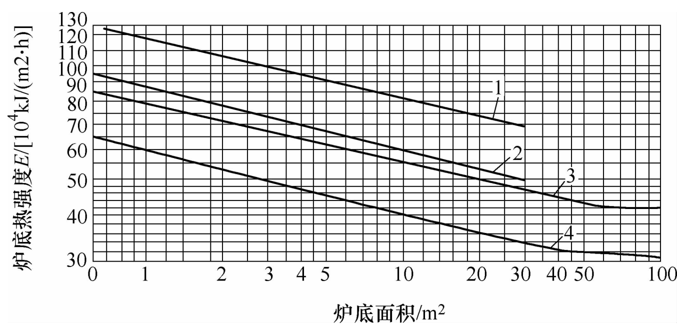


图 A.1 箱式及台车式炉炉底热强度指标

1—炉温 950℃燃煤热处理炉 2—炉温 550～650℃燃煤热处理炉

3—炉温 950℃燃油、燃煤气热处理炉 4—炉温 550～650℃燃油、燃煤气热处理炉

表 A.2 热处理炉的炉底热强度

炉 型	炉底最大热强度/[kJ/(m^2·h)]	炉底平均热强度/[kJ/(m^2·h)]
箱式炉	8.37×10^5	5.86×10^5
台车式炉(<10m^2)	8.37×10^5	5.86×10^5
台车式炉(10～30m^2)	6.28×10^5	5.86×10^5
台车式炉(>30m^2)	5.23×10^5	4.31×10^5
坑式炉	5.23×10^5	3.14×10^5
井式炉(高 4～20m)，<700℃	$(1.00\sim1.67)\times10^5$	$(0.500\sim0.837)\times10^5$
井式炉(高 4～20m)，700～1000℃	$(1.67\sim2.10)\times10^5$	$(0.837\sim1.047)\times10^5$

注：1. 根据炉底（或容积）最大热强度算出的燃料消耗能量最大炉子最大消耗量。
2. 较小的炉子用上限，较大的炉子用下限。
3. 井式炉为容积热强度［kJ/(m^3·h)］。

表 A.3 热处理燃料炉工件单位重量燃料消耗

热处理工艺	炉型	炉温/℃	工件单位燃料消耗①/[kJ/(m^3·kg)]	热效率②(%)
正火及淬火	箱式炉	800～850	3000～2810	12～17
		860～880	3500～4350	
	推杆式炉	800～850	2500～3264	18～22
		860～880	3000～3810	
	辊底式炉	800～850	3000～3810	12～17
		860～880	3500～4350	
	转底式炉	800～850	2500～3264	18～25
		860～880	3000～3810	
	台车炉	850～880	3500～4350	10～18
	井式炉	850～880	3000～3810	12～17
退火③	箱式炉	850～870	3000～4350	10～12
	台车炉	850～870	3500～4898	8～15
	罩式炉	920～1100	—	15～20

（续）

热处理工艺	炉型	炉温/℃	工件单位燃料消耗①/[kJ/(m^3·kg)]	热效率②(%)
回火	箱式炉	450～650	1500～2177	12～17
	箱式炉	180～200	500～816	—
	推杆式炉	400～650	1250～1632	18～22
	辊底式炉	450～650	1500～2177	12～17
固体渗碳	箱式炉	900～920	8000～9251	12～18
	推杆式炉		7500～8707	15～22
	旋转罐式炉		7500～8707	15～20
气体渗碳	井式炉	900～950	5000～6530	18～20
	推杆式马弗炉		4000～4898	18～22
	推杆式无马弗炉		4000～4898	20～25

① 燃料用低落热值 Q_d=36000kJ/m^3 的天然气。

② 不预热空气。

③ 退火时间小于24h。

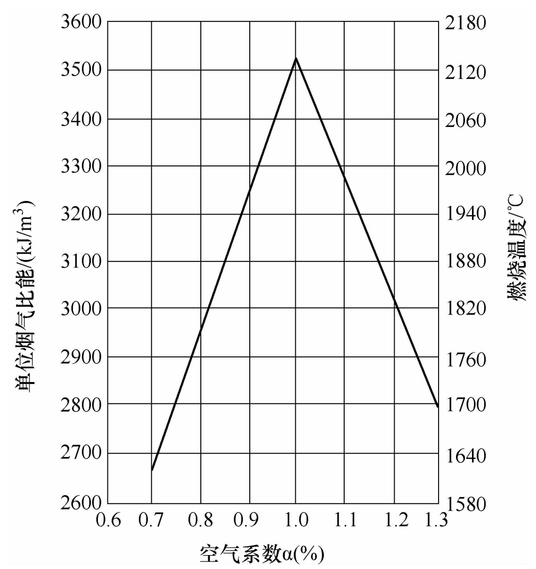


图 A.2　空气系数与燃烧温度的关系

表 A.4　热处理炉工件单位热消耗量

热处理工艺及炉子类型		加热温度/℃	工件单位热消耗量 q/(kJ/kg)
回火	箱式炉	550	1465～2093
	输送带式炉		1046～1674
淬火、退火及正火	箱式炉	800～925	2093～4186
	转底式炉		2093～3348
	推杆式炉		3140～4186
	输送带式炉		2512～3767
	台车式炉		3358～4186
	辊底式炉		2093～3140

（续）

热处理工艺及炉子类型		加热温度/℃	工件单位热消耗量 q/（kJ/kg）
渗碳	箱式炉	900	5023 ~ 6279
	推杆式炉		4186 ~ 5023

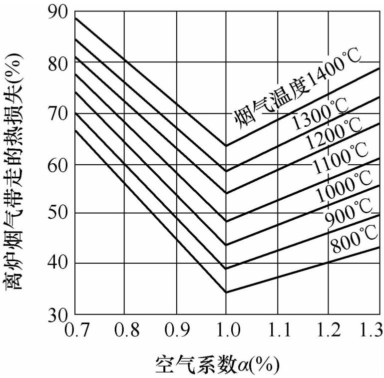


图 A.3　空气系数与离炉烟气带走热损失的关系

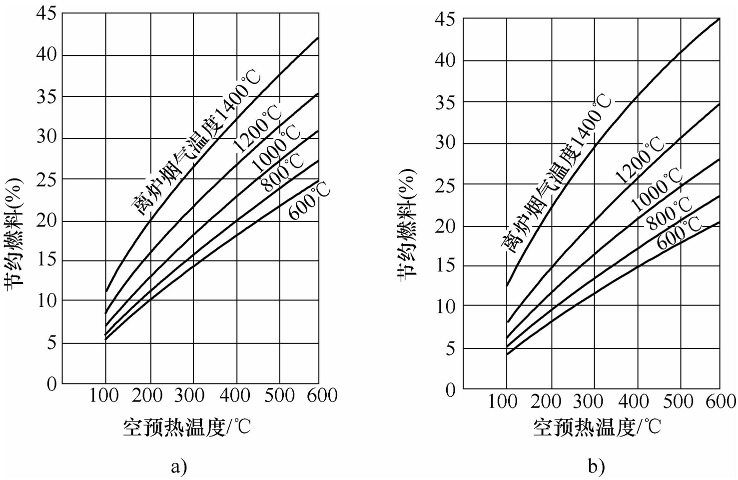


图 A.4　空气预热温度与燃料节约率的关系

a）燃料油 Q_d = 40200kJ/m³　b）发生炉煤气 Q_d = 5650kJ/m³

表 A.5　降低空气系数后的燃料节约率

离炉烟气温度/℃	原始空气系数 α（%）	降低后的空气系数 α′（%）			
		1.3	1.2	1.1	1.0
700	1.4	3.76	7.26	10.5	13.5
	1.3	—	3.65	7.01	10.1
	1.2	—	—	3.48	6.74
	1.1	—	—	—	3.38
900	1.4	5.94	11.27	16.0	20.2
	1.3	—	5.66	10.7	15.2
	1.2	—	—	5.29	10.1
	1.1	—	—	—	5.04

（续）

离炉烟气温度/℃	原始空气系数 α(%)	降低后的空气系数 α′(%)			
		1.3	1.2	1.1	1.0
1100	1.4	9.43	17.3	23.8	29.4
	1.3	—	8.67	15.9	22.1
	1.2	—	—	7.91	14.7
	1.1	—	—	—	7.36

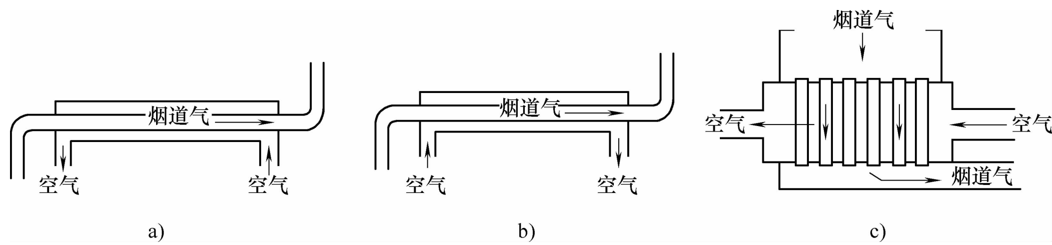


图 A.5　换热器原理

a）反向流　b）平行流　c）横流

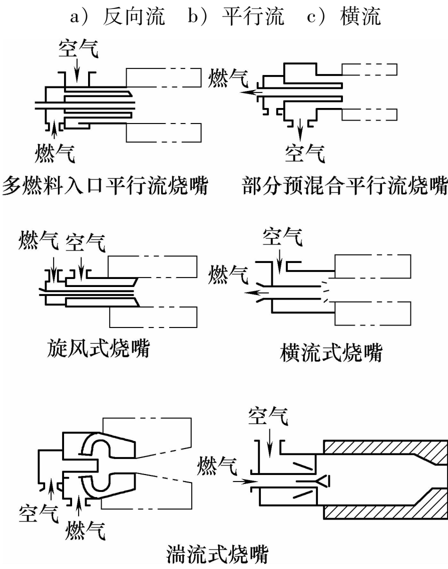


图 A.6　几种直燃式高速烧嘴

表 A.6　火焰辐射管类型及热工特性

名称	形状	表面负荷 /[kJ/(cm² · h)]	热效率 (%)	特点	用途
直管型		12～21	40～50	结构简单，使用方便，热效率低	用于炉温 1000℃以下的室式或连续式炉，垂直安装
套管型		12～21	60～75	结构复杂，内套管材要求高，造价高，热效率高	用于炉温 1000℃以下的室式、井式或连续式炉，垂直安装

（续）

名称	形状	表面负荷 /[kJ/(cm^2·h)]	热效率 (%)	特点	用途
U 型		12～17	55～65	结构较简单，应用普遍，空气、煤气便于预热，效率较高	用于炉温 1000℃以下的各种炉型，水平安装
W 型		12～15	65～65	用一个烧嘴得到较大的传热面积，热效率较高	一般用于炉温 900℃以下的各种立式炉、回转式炉等，水平安装
O 型		12～15	50～60	其结构随炉型而定。制造复杂，温度分布不均	用于炉温 900℃以下的罩式炉，水平安装
P 型		3～16	50～60	烟气再循环。结构复杂，制造困难，热应力大，寿命较低	同 U 型管，较少采用
三叉型		16～21	60～65	两个燃嘴共用一个排气管，燃烧能力强，温度分布较均匀，是新型的辐射管	同 U 型管，加热能力强

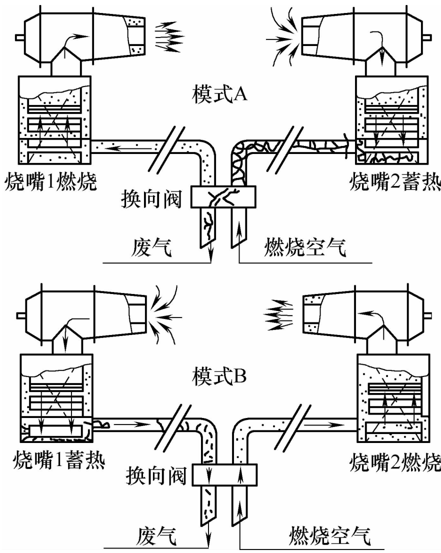


图 A.7　再生燃烧器燃烧过程示意图

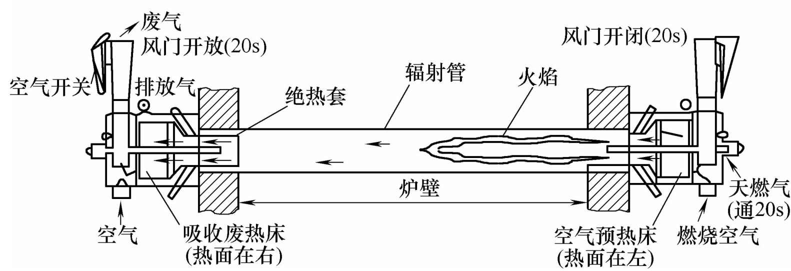


图 A.8　再生式双向交替燃烧辐射管

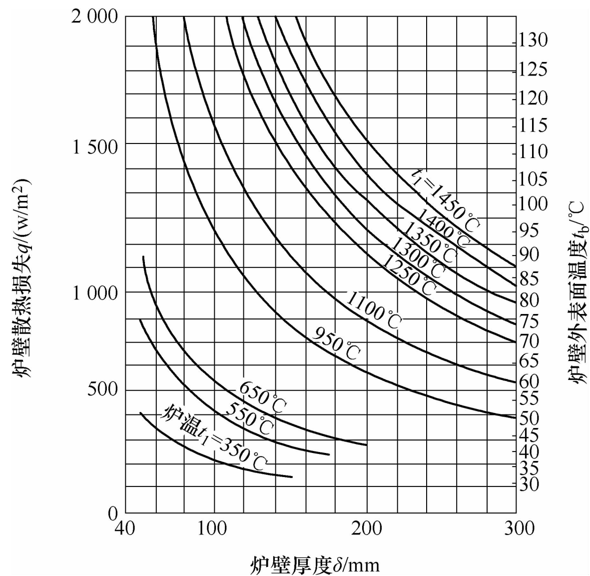


图 A.9　耐火纤维毡（毯）密度为 130kg/m³ 时，不同炉衬厚度的 q 值和 t_b 值

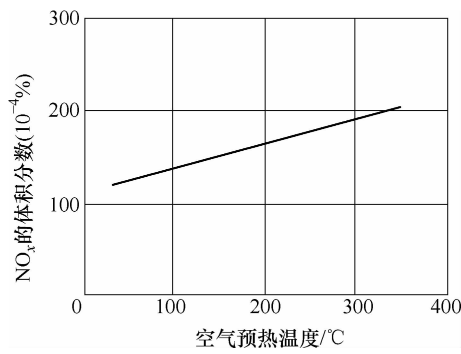


图 A.10　空气预热温度对离炉烟气中 NO_x 量的影响

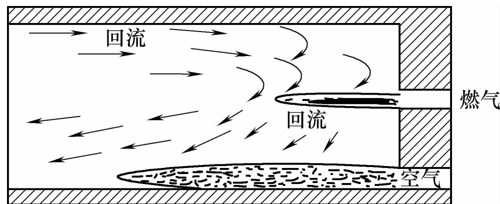


图 A.11　少 NO_x 燃烧气体回流燃烧器

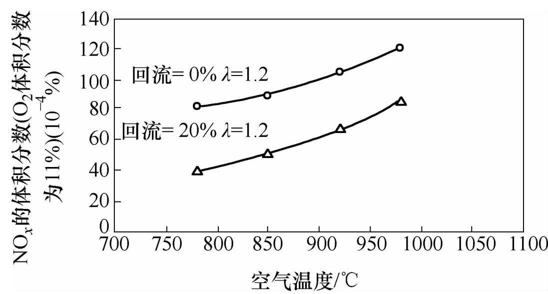


图 A.12　烟气再循环燃烧和 NO_x 含量的关系

第七节　可控气氛底装料立式多用炉热处理技术要求

一、概论

1. 本标准重要性、必要性

底装料立式多用炉技术是可控气氛热处理的重要发展，除具有少无内氧化渗碳、控制精确特点

之外，还可以选择各种不同淬火冷却介质，以适应不同材料和零件对淬火冷却的不同要求，使热处理零件获得最佳的性能和质量，最大限度地减少热处理畸变。底装料立式多用炉具有温度和气氛恢复与转换快的特点，可以实现保护淬火、渗碳、渗氮等多种工艺快速转换，提高生产率，降低成本；还可以实现少无内氧化渗碳、表面碳势可控的薄层与超薄层渗碳等高质量化学热处理。底装料立式多用炉采用加热炉和淬火槽独立的结构，可以灵活选用不同淬火冷却介质，是代替盐浴炉和铅浴炉热处理、减少环境污染、实现清洁热处理的最佳方案。该炉型采用模块积木式设计，用户可以灵活选择配置，适应各种不同生产规模和批量。底装料立式多用炉技术近年在我国获得广泛应用，在提高热处理质量和节能减排，实现清洁生产方面发挥了重要作用。

为了更好推动底装料立式多用炉技术发展和广泛应用，促进我国热处理的清洁生产和质量提高，在高端热处理技术方面与世界接轨，应在总结底装料立式多用炉生产线技术基础上，尽早制定底装料立式多用炉热处理技术要求的行业标准，指导该项技术热处理生产，规范此类先进技术装备设计制造，完善我国热处理标准化体系。

底装料立式多用炉技术在我国推广应用已有十多年时间，国产和进口底装料立式多用炉已有数十台套正常运行。目前广东世创金属科技有限公司已制定了《可控气氛底装料立式多用炉生产线》企业标准，很多该项技术用户也编制了相应的热处理生产技术文件。因此，现在已具备了制定该项行业标准的条件。

2. 国内外标准概况及分析

国内外至今尚没有关于“可控气氛底装料立式多用炉生产线热处理”方面的国家或行业标准。编制组在广东世创金属科技有限公司企业标准 Q/SC 002-2008《底装料立式多用炉热处理生产线》和使用单位北京航科发动机控制有限公司等单位热处理生产技术文件基础上，全面总结和分析了我国在底装料立式多用炉生产线设计制造和热处理生产方面研究成果与生产经验，制定了 JB/T 11806—2014《可控气氛底装料立式多用炉生产线热处理技术要求》。

3. 标准的关键创新点

（1）本标准把底装料立式多用炉定义为具有结构分离的立式加热炉、淬火槽，以及炉或槽传输机构，采用底开门形式，工件在底部装卸并在立式加热炉中加热和转移的多用途周期式炉。它不同于罩式炉，不是加热炉吊起装卸工件，而是工件在底部装卸，因此可以实现工件在立式加热炉中加热和转移，被加热工件温度不降低、不产生氧化脱碳，并可在多种淬火槽中淬火。它不同于箱式多用炉，而是采用结构分离的立式加热炉、淬火槽，所以淬火槽可选配水、盐水、聚合物水溶液、冷油、200℃热油、350℃或 500℃盐浴淬火槽、气冷槽、缓冷槽。可以在可控气氛下完成对工件的渗碳、碳氮共渗、薄层渗碳、渗氮、氮碳共渗，以及可控保护气氛淬火、退火、正火、回火等热处理工艺。

（2）该标准规定了炉体传动系统应保证最大装载量，炉体能平稳、及时、准确地行走到淬火槽上和返回，并有防止越位的安全措施，保证在工件随炉转移过程炉子仍处于加热状态，仍通有保护气氛，温度变化符合工艺要求。

（3）本标准对清洗机的清洗废液处理提出了更高要求，清洗机必须设油水分离装置，以保证油分离和回收。除盐清洗机应设有盐回收处理装置，保证废盐液全部处理回收再利用。

（4）本标准列有底装料立式多用炉的薄层渗碳和碳氮共渗工艺、少无内氧化高质量渗碳工艺等工艺控制参数。薄层渗碳、碳氮共渗工艺升温期和保温前期保持与基体材料相同碳势，使基体材料表面不脱碳、不渗碳；保温后期迅速将碳势提高至需要的高碳势，同时通入氨，完成渗碳或碳氮共渗，既可达到表面碳势和硬度要求，又可控制渗层深度，充分发挥底装料立式多用炉气氛恢复快的特点，提高薄层渗碳、碳氮共渗质量。少无内氧化高质量渗碳工艺，升温期和保温前期采用高碳

势（1.1% ~1.4%），使吸附在工件、料具的氧和炉内气氛中残存的氧被还原，避免和减少其产生内氧化的有害影响。而保温后期要把碳势降下来，达到工件所要求的高碳势，获得良好渗层碳含量、组织和性能，实现高质量渗碳。

二、标准应用说明

1. 编制原则

标准编制原则力求体现先进性、实用性和可操作性。

（1）先进性。设备、工艺、节能、环保等方面要求与国际接轨，达到国际先进水平。

（2）实用性。设备方面采用广东世创金属科技有限公司的企业标准内容，工艺方面借鉴底装料立式多用炉生产线主要用户的热处理生产技术文件内容。这些资料和数据都是经过生产验证的，实用性强。

（3）可操作性。该标准编制过程中，广泛吸收引用现有国家标准、行业标准，严格按 GB/T 1.1《标准化工作导则　第1部分：标准的结构和编写规则》编写，使该标准融入我国热处理标准化体系中，填补我国热处理体系的空白，有利于完善我国热处理标准体系，也使该标准具有很好的操作性，便于今后贯彻执行。

2. 主要内容

该标准适用于可控气氛底装料立式多用炉生产线的热处理，包括在多种可控气氛中的渗碳、碳氮共渗、薄层渗碳和碳氮共渗、渗氮、氮碳共渗、淬火、回火、退火、正火、固溶和时效等各种热处理。

该标准的主要内容包括可控气氛底装料立式多用炉生产线的组成，生产线的技术要求和可靠性要求、热处理工艺要求、质量控制与检验、安全卫生和环境保护要求，以及节能要求。

（1）4.1 条生产线组成，包括了可控渗碳、精密渗氮、光亮淬火、调质生产线，特别强调无论哪种生产线都应包括废气、废液回收处理，突出体现环保和清洁生产要求。

（2）4.2 条型号和规格，力图把国内各种底装料立式多用炉生产线都包括进来，所以在型号划分方面包括了按加热炉最大装载量和有效加热区尺寸两种划分方法，目前以加热炉最大装载量划分型号为主。典型规格方面列举了加热炉、淬火槽、回火炉、清洗机、装卸料装置、装卸料台、控制系统等可选规格，对指导合理正确选择使用底装料立式多用炉有重要指导意义。

（3）5.1.2 条规定底装料立式多用炉生产线设计和制造应满足 GB 5959.1、GB 5959.4、GB/T 10067.1、GB/T 10067.4、JB/T 10175、GB/T 8195.11 有关规定。JB/T 8195.11 为《间接电阻炉　第11部分：RB 系列罩式炉》，罩式炉与底装料立式炉英文名字相同，均为 bell furnace，结构也有些相似，但底装料立式炉具有比罩式炉更多功能和更高要求。底装料立式炉可以由底部直接装卸料，并与淬火槽配合实现淬火；与清洗机、回火炉、装卸机构等组成多用炉生产线，可以实现渗碳、渗氮、淬火、调质、正火、退火、固溶时效等多种热处理工艺。

（4）5.2.1 条底装料立式加热炉结构，规定炉体传动系统应保证最大装载量，炉体能平稳、及时、准确地行走到淬火槽上和返回，并有防止越位的安全措施。还特别规定，工件随炉转移时炉子仍处于加热状态，仍通有保护气氛，保证工件在转移过程中不产生氧化脱碳，温度变化符合工艺要求。

（5）5.3.1 条淬火槽一般要求规定可以选配多个不同淬火槽，包括水、盐水、聚合物水溶液、冷油、200℃热油、350℃盐浴、500℃盐浴等淬火槽，也可以选用缓冷或气冷槽，以满足不同冷却要求。油槽、盐浴槽、水槽温度控制在 ±10℃以内，淬火温升不超过 20℃，以保证淬火冷却高质量要求。

（6）5.5 条清洗机明确规定要设有废油和废盐回收装置，对清洗废液回收处理再利用。

（7）7.1.2 条薄层渗碳、碳氮共渗工艺，升温期和保温前期保持与基体材料相同碳势，使基体材料表面不脱碳、不渗碳；保温后期迅速将碳势提高至需要的高碳势，同时通入氨，很快完成渗碳或碳氮共渗，既可达到表面碳势和硬度要求，又可控制渗层深度，充分发挥底装料立式多用炉碳势恢复快的特点，提高薄层渗碳、碳氮共渗质量。

（8）7.1.3 条少无内氧化高质量渗碳工艺，升温期和保温前期要采用高碳势（1.1% ~1.4%），使吸附在工件、料具的氧和炉内气氛中残存的氧被还原，避免和减少其产生内氧化的有害影响。而保温后期要把碳势降下来，达到工件所要求的碳势，获得良好渗层碳含量、组织和性能，实现高质量渗碳。

（9）7.1.4 条保护气氛淬火工艺，升温期和保温期均应保持与基体碳含量相当或略高碳势，防止工件表面产生氧化脱碳、增碳，达到保护效果。因为炉气中经常残存含氧气氛，工件和料具也会带入一些氧化性物质，可能影响工件表面，产生不必要氧化脱碳，所以一般选用炉中碳势应略高于基体材料含碳量。

（10）7.1.5 条精密可控渗氮工艺，一般采用两段或多段渗氮，为了防止产生白亮层，氮势选择应以氮势门槛值曲线选取，前期为高氮势，后期为低氮势，以达到既有高渗速，又不致产生蓬松白亮层。

3. 主要试验（或验证）情况

（1）底装料立式多用炉技术研究。底装料立式多用炉基本组成包括加热炉、淬火槽、控制系统和装卸料装置等。热处理工艺过程包括装料、加热、转移、淬火、卸料等工序，可以实现可控气氛保护淬火、退火、回火、渗碳、碳氮共渗、渗氮、氮碳共渗、氧氮共渗等多种热处理工艺。

底装料立式多用炉采用工件悬挂、一体化风机、吹氮保护、分体淬火槽等多项专利技术，结构上具有高质量金属炉罐、先进轴向设计、炉子与淬火槽分开、工件直接淬火四大特点，形成了独具特色的新型可控气氛热处理炉系列。

1）炉气气氛和温度恢复转换速度试验。底装料立式多用炉的炉气气氛和温度恢复转换快，气体消耗少，起动和停炉方便，工艺转换快，生产率高，运行成本低。

底装料立式多用炉与一般井式炉相似，没有任务时可停炉，有任务时可快速进入生产状态，从25℃到850℃、碳势0.8%状态≤90min。因为气氛转换、恢复快，又没有前室，气氛消耗量比一般密封箱式多用炉少1/3 ~1/2，生产成本低。炉罐与炉膛之间可以通入冷却气体冷却，实现渗碳或钎焊后对气氛和冷却速度的控制，满足各种不同冷却方式要求。

①升温和温度恢复速度测试。对P500炉型，测试了空载状态下从室温升到950℃的升温速度，还测试了满载500kg状态下的升温速度。测试结果表明，空载状态从室温升到950℃时间≤2h；满载500kg，950℃装炉炉温恢复到950℃时间只需58min。

②碳势转换速度测试。对P500型炉，试验了880℃和950℃空炉碳势转换速度，其结果如表3.7-1所示。从表3.7-1可以看出，880℃时碳势从0.45%升至1.0%需要7min，从1.0%降至0.45%只需3min；950℃时碳势从0.2%升至1.2%需要6min，而从1.2%降至0.2%需10min。

表3.7-1 碳势转换速度试验结果

880℃		950℃	
时间	碳势(%)	时间	碳势(%)
10:09:00	0.45	10:47:06	0.2
10:16:16	1.0	10:53:04	1.2
10:19:52	1.0	10:30:11	1.2
10:22:55	0.45	10:40:11	0.2

2）炉温均匀性和气氛均匀性试验。底装料立式多用炉采用大功率循环风机和导风装置进行强对流循环，以及 3 区 6 支热电偶关联控温，保证炉温均匀性和气氛均匀性，控温精度≤±1℃，炉温均匀性≤±5℃，碳势控制精度≤±0.05%，氮势控制精度应为氨分解率波动≤±1%。

①炉温均匀性测试。对 P500 底装料立式多用炉进行空载和满载条件下的炉温均匀性测试。测试按 GB/T 9452—2012《热处理炉有效加热区测定方法》，采用 9 点测温，测定温度选择 850℃、930℃，满载测试时装入 400kg 的低碳钢料（加上料框毛重为 500kg），炉温均匀性测试结果如表 3.7-2～表 3.7-5 所示。试验结果表明，该炉子空载时炉温均匀性≤±3℃，满载时炉温均匀性≤±5℃。

表 3.7-2　空载 850℃炉温均匀性测试结果

时间（时：分）	温度(热电偶，经修正)/℃								
	上区				中区	下区			
	6	7	12	9	11	1	4	5	8
12:12	847.9	852.2	849.3	849	847.6	852.5	850.7	850.5	848.1
12:16	847.4	850.6	848.3	848	847.1	852.5	850.7	850.5	848.1
12:20	847.4	851.6	848.8	849	847.1	852.5	850.7	850.5	848.1
12:24	847.4	851.6	848.8	849	847.1	852.4	850.4	850	848.1
12:28	847.4	850.6	847.8	848	847.1	851.9	850.2	850	847.6
12:32	847.4	850.6	847.8	848	847.1	852.9	851.7	851	849.1
12:36	847.4	852.2	849.8	849	848.1	852.9	851.7	851	849.1
12:40	847.9	852.2	849.8	849.5	847.6	851.4	851.2	851	849.1
12:44	847.4	852.1	850.6	849	847.1	851.9	850.4	850	848.1
12:48	847.4	851.6	848.8	849	847.1	852.9	851.2	850.5	848.6
最高值	847.9	852.2	850.6	849.5	848.1	852.9	851.7	851	849.1
最低值	847.4	850.6	847.8	848	847.1	851.4	850.2	850	847.6
最大偏差	-2.6	+2.2	-2.2	-2	-2.9	+2.9	1.7	+1	-2.4
结论	炉温最大偏差				炉温均匀性				
	+2.9，-2.9				≤±3.0				

表 3.7-3　空载 930℃炉温均匀性测试结果

时间（时：分）	温度(热电偶，经修正)/℃								
	上区				中区	下区			
	6	7	12	9	11	1	4	5	8
16:18	927.9	931.7	929.3	928.7	927.6	929.2	928.5	928.2	928
16:22	928.4	932.9	930.4	930.4	928.1	932.4	930.5	930.2	928
16:26	928.9	932.9	930.3	930.2	927.6	930.2	929.5	929.2	927.6
16:30	928.4	932.4	930.3	930.2	927.6	930.2	929	929.2	927.3
16:34	929.1	932.9	931.3	931.2	929.1	932.2	930.5	930.7	929.3
16:38	931	932.9	932.3	932.2	929.1	931.2	929	929.2	928.5
16:44	929.1	932.1	930.3	930.2	927.6	931.2	929.5	929.7	928
16:48	929.4	932.9	931.3	931	928.1	931.7	929.5	930.2	928.5
16:52	929.4	932.9	930.5	930.7	928.1	931.9	930.2	930.7	928.7
16:56	929.5	932.9	931.5	931.7	929.1	932.7	932.2	931.2	930.3

（续）

时间（时：分）	温度(热电偶，经修正)/℃								
	上区				中区	下区			
	6	7	12	9	11	1	4	5	8
最高值	931	932.9	932.3	932.2	929.1	932.7	932.2	931.2	930.3
最低值	927.9	931.7	932.3	928.7	927.6	929.2	928.5	928.2	927.3
最大偏差	-2.1	+2.9	+2.3	+2.2	-2.4	+2.7	+2.2	+1.8	-2.7
结论	炉温最大偏差				炉温均匀性				
	+2.9，-2.7				≤±3.0				

表 3.7-4 满载 850℃炉温均匀性测试结果

时间（时：分）	温度(热电偶，经修正)/℃								
	上区				中区	下区			
	6	7	12	9	11	1	4	5	8
00:15	854	854.5	850	848.5	851	853.5	848	846	845
00:19	853.5	852.5	849	847.5	851	853	848	845	845
00:23	852.5	852.5	848	847	850	852	848	845	845
00:27	852	851.5	848	847	850	852	848	845	845
00:31	852	851.5	849	847	850	852	848	845	845
00:35	852	851.5	848	847.5	849.5	852	848	845	845
00:39	851	851	848	847.5	849.5	852	848	845	845
00:43	851	851	848	847.5	849.5	852	848	845	845
00:47	852	852	849	848	850	853	849	846	845
00:51	852	852	849	848	850	853	849	846	845
最高值	854	854.5	850	848.5	851	853.5	849	846	845
最低值	851	851	848	847	849.5	852	848	845	845
最大偏差	+4	+4.5	-2	-3	+1	+3.5	-2	-5	-5
结论	炉温最大偏差				炉温均匀性				
	+4.5，-5				≤±5				

表 3.7-5 满载 930℃炉温均匀性测试结果

时间（时：分）	温度(热电偶，经修正)/℃								
	上区				中区	下区			
	6	7	12	9	11	1	4	5	8
04:50	935	934	934	931.5	933	934.5	928.5	929	928
04:54	935	933	933	931	933	934.5	928.5	929	928
04:58	934	933	933	931	932.5	934.5	928.5	929	928
05:02	934	933	933	931	933	934	928.5	929	928
05:06	934.5	933	933	931	933	934	929	929	929
05:10	934	933	932	930	933	934	928	928.5	928
05:14	934	933	932	930	933	934	928	928.5	928
05:18	934	933	933	930	933	934	928	928.5	928
05:22	934.5	934	933.5	931	933	934	928	928.5	928

（续）

时间（时：分）	温度(热电偶，经修正)/℃								
	上区				中区	下区			
	6	7	12	9	11	1	4	5	8
05:26	934.5	934	934	931	933	934.5	928	929	928
最高值	935	934	934	931.5	933	934.5	929	929	928
最低值	934	933	932	930	932.5	934	928	928.5	928
最大偏差	+5	+4	+4	+1.5	+3	+4.5	-2	-1.5	-2
结论	炉温最大偏差				炉温均匀性				
	+5，-2				≤±5				

北京航科发动机控制有限公司对P80底装料立式多用炉炉温均匀性进行了测试，测试结果如表3.7-6所示。试验结果表明，该炉的炉温均匀性在±5℃以内。

表3.7-6　P80底装料立式多用炉温度均匀性检测结果

被测温度/℃	热电偶编号	实际温度/℃	最大偏差/℃	炉温均匀性/℃
830	1#	826	-4	≤±5
	2#	825	-5	
	3#	825	-5	
	4#	826	-4	
	5#	827	-3	

长春航空液压控制有限公司对P80底装料立式渗氮炉的炉温均匀性进行了测试，测试结果如表3.7-7所示。试验结果表明，该炉的炉温均匀性在±3℃以内。

表3.7-7　P80底装料立式渗氮炉有效加热区炉温均匀性测试结果

设定温度/℃	实测结果/℃	最大偏差/℃	技术要求和结论	设定温度/℃	实测结果/℃	最大偏差/℃	技术要求和结论
450	451.3 450.7 453.0 448.8 452.3 452.4 451.2 451.3 449.6	+3.0 -1.2	≤±3℃ 合格	550	550.1 549.6 552.0 548.6 551.8 552.3 551.1 551.1 549.8	+2.3 -1.4	≤±3℃ 合格
500	500.3 499.8 502.3 498.0 501.6 502.9 502.5 502.7 501.0	+2.9 -2.0	≤±3℃ 合格	600	600.6 600.1 602.1 599.4 601.6 602.7 601.9 602.0 601.1	+2.7 -0.6	≤±3℃ 合格

②碳势控制精度和渗层均匀性测试。碳势控制精度测试采用钢箔称重法，按 JB/T 10312—2001《钢箔测定碳势法》进行，对 P500 底装料立式多用炉分别测试了 850℃时碳势为 0.5%、0.8% 和 950℃时碳势为 0.7%、1.3% 的碳势控制精度，其结果如表 3.7-8 所示。试验结果表明，该炉子的碳势控制精度≤±0.05%。

表 3.7-8　碳势控制精度测试结果

温度/℃	设定碳势（%）	仪表显示碳势（%）	实测碳势（%）	碳势偏差（%）	碳势最大偏差（%）	碳势控制精度
850	0.50	0.5	0.46	-0.04	-0.03，-0.05	≤±0.05%
	0.80	0.8	0.77	-0.03		
950	0.70	0.7	0.66	-0.04		
	1.30	1.31	1.25	-0.05		

北京航科发动机控制有限公司对 P80 底装料立式多用炉的渗层深度均匀性进行了测试，测试结果如表 3.7-9 所示。试验材料为 12CrNi3A，渗碳工艺为 920℃渗碳 4h，设定碳势为 0.9%，渗层深度为 0.90mm。试验结果表明，该炉的渗层均匀性很好，达到了热处理质量控制的相关标准要求。

表 3.7-9　P80 型底装料立式多用炉渗层深度均匀性检测结果

试样号	渗层深度/mm	渗层深度最大偏差/mm	试样号	渗层深度/mm	渗层深度最大偏差/mm
1#	0.92	+0.02	3#	0.90	0
2#	0.92	+0.02	4#	0.90	0

长春航空液压控制有限公司对 P80 底装料立式渗氮炉的渗氮层表面硬度均匀性和渗层深度均匀性进行了测试，测试结果如表 3.7-10 所示。测试结果表明，表面硬度和渗层组织符合技术要求，渗层深度均匀性达到了合同技术要求和 HB 5354《热处理工艺质量控制要求》。

表 3.7-10　P80 底装料立式渗氮炉的渗层组织、表面硬度和渗层深度均匀性测试结果

材料	渗层组织	表面硬度　HV10	渗层深度/mm	渗层深度最大偏差/mm	技术要求和结论
38CrMoAlA	4 级	1071 1065 1047 1054 1057 1080	0.345 0.369 0.353 0.352 0.361 0.347	0.019	渗层组织≤5 级 表面硬度≥800HV10 渗层深度偏差≤0.03mm 合格
25Cr3MoA	4 级	932 931 905 935 937 954	0.33 0.34 0.34 0.36 0.34 0.35	-0.02	渗层组织≤5 级 表面硬度≥800HV10 渗层深度偏差≤0.03mm 合格

3）炉料转移时温度降低和淬火转移时间测试。对 P500 底装料立式多用炉测试了 860℃满载状态下，炉料转移温度降低情况和淬火转移时间。试验从炉顶插下测温热电偶 4 支，分别在有效加热

区的上部、中部、下部，为模拟生产实际情况，下部两支热电偶中其中一支装入 ϕ10mm×20mm 试件心部。热电偶分布情况如图 3.7-1 所示，试验结果如表 3.7-11 所示。试验结果表明，炉料转移至装入淬火油槽时间为 1min5s，上部（1 号）、中部（2 号）、下部（3 号）温度降低分别为 3.4℃、1.7℃、5.9℃，装入试件的 4 号热电偶温度降低 1.4℃。淬入淬火槽的淬火转移时间为 10s。这说明炉料温度降低小，淬火转移时间短。

表 3.7-11　炉料转移时温度降低试验结果

热电偶位置	1(上)	2(中)	3(下)	4(下,试样)
转移前温度/℃	854.6	859.4	854.8	859.1
转移后温度/℃	851.2	857.7	848.9	857.7
转移温降/℃	3.4	1.7	5.9	1.4

4）表面温升测试。炉子表面温升采用 K 型热电偶直接接触炉体表面温度方法，测温热电偶分别置于炉顶和炉壁不同部位（见图 3.7-2）。测试炉温为 950℃达到热稳定状态时炉体各表面温度，其测试结果如表 3.7-12 所示。

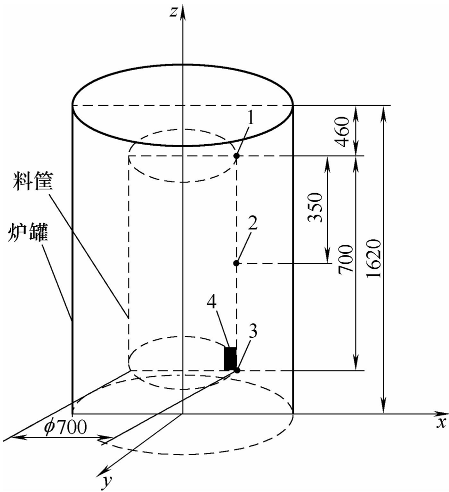


图 3.7-1　炉料转移时间和温度降低试验热电偶布置图

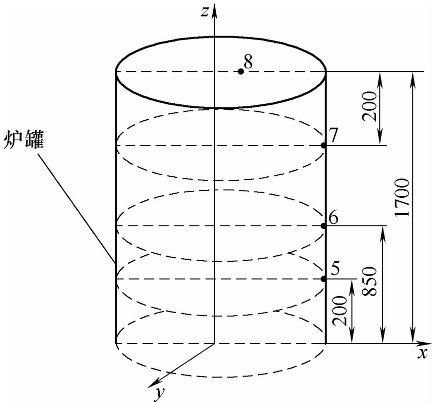


图 3.7-2　表面温升热电偶分布

表 3.7-12　表面温升测试结果

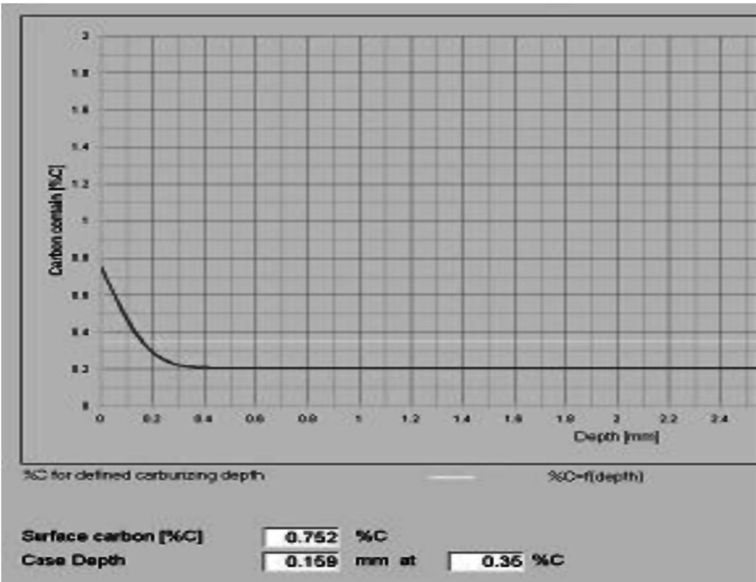
工作温度/℃	热电偶位置	测试温度/℃	室温/℃	表面温升/℃
950	炉顶(8)	51.4	21	30.4
950	炉壁(7)	32.2	21	11.2
950	炉壁(6)	36.7	21	15.7
950	炉壁(5)	53.2	21	32.2

从表 3.7-12 可以看出，炉子的表面温升最大为 32.2℃，低于技术指标（≤50℃）。

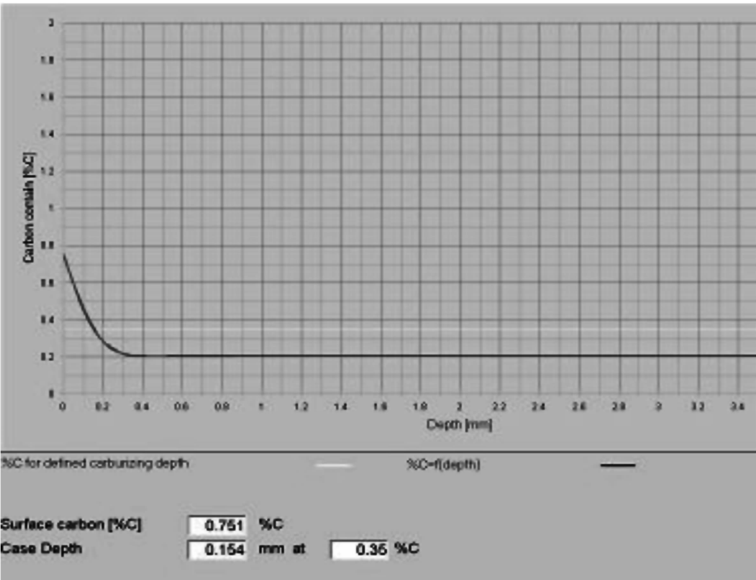
5）在线控制试验。底装料立式多用炉技术具有材料和工艺数据库以及自动制定工艺专家系统，从简单到复杂工艺控制可供选择，实现适时在线控制和生产管理。

某厂薄层渗碳件材料为 20CrMnTi，要求渗碳、淬火、回火后表面硬度为 664～766HV，渗层深

度为0.15~0.20mm。根据工件材料、渗层深度和表面硬度要求，CarboBell Pro专家系统模拟渗碳工艺为：860℃×10min渗碳，碳势为0.80%，随后降温至840℃直接油淬，回火为180℃×4h空冷。计算机控制的碳势分布控制目标曲线和仿真适时控制曲线分别如图3.7-3所示，两者吻合情况良好。试验结果如表3.7-13、表3.7-14所示。试件经热处理后，表面碳含量均匀性为±0.045%（质量分数），渗层深度为0.15~0.18mm，其均匀性±0.015mm，表面硬度为690~748HV，心部硬度为480~508HV，渗层组织均匀为Ⅰ级，心部组织为Ⅰ级。均满足用户产品的技术要求。该炉型热处理后硬度和金相组织均一性良好。



a)



b)

图3.7-3 仿真适时控制曲线
a）目标碳势分布 b）仿真碳势分布

表 3.7-13 表面碳含量和渗层深度测试结果

项目	试样编号及所处区域												目标值	仿真控制
	上区				中区				下区					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
试样编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
渗层深度/mm	0.17	0.17	0.18	0.16	0.17	0.15	0.17	0.16	0.16	0.18	0.16	0.15	0.159	0.154
表面碳含量(质量分数,%)	0.64	0.67	0.68	0.67	0.67	0.71	0.73	0.73	0.73	0.65	0.67	0.65	0.752	0.751
结论	表面碳含量最大偏差(质量分数,%)							渗层深度最大偏差/mm						
	0.09							0.03						

表 3.7-14 表面和心部硬度 (HV)

项目	试样编号及所处区域												技术要求
	上区				中区				下区				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	
表面硬度	704	690	719	731	709	714	720	718	691	740	748	746	664～766
心部硬度	496	480	491	495	490	501	497	492	486	499	494	508	—

（2）底装料立式多用炉热处理工艺研究

1）少无内氧化高质量渗碳应用研究。机械制造业中广泛应用渗碳表面强化工艺，制造业精密化发展要求提高渗碳质量，减少畸变，迫切要求研究发展防止渗层内氧化和灵活选择淬火冷却介质的可控渗碳工艺技术。渗层内氧化的实质是：在高温下，吸附在工件表面的氧可沿奥氏体晶界扩散，并和与氧有较大亲和力的元素（Ti、Si、Mn、Al、Cr）发生氧化反应形成金属氧化物，同时氧化物附近基体碳和合金元素下降，使该层的淬透性下降，淬火组织中出现非马氏体组织。若炉气的 O_2、H_2O、CO_2 含量较高，或零件表面有严重氧化皮时，提供内氧化的氧，在渗碳过程中将发生内氧化。普通气体渗碳内氧化是不可避免。内氧化使表层出现非马氏体组织，表面显微硬度下降。内氧化对弯曲疲劳强度有影响。当内氧化深度大于 13μm 时，疲劳强度随内氧化层增加而明显下降，如铬锰钢，内氧化层深度从 13μm 增加到 30μm 时，疲劳强度下降 20～25%；100μm 左右时，疲劳寿命下降 63%。内氧化的存在也影响渗层表面残余应力的分布，使渗层表面出现拉应力。因此，很多重要渗碳件都有内氧化层深度要求，成为渗碳工艺的技术关键。

GB/T 3480.5—2008（eq ISO 6336-5:2003）《直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 5 部分：材料的强度和质量》对 ME、MQ 级齿轮提出了表面内氧化深度（IGO）限制要求，如表 3.7-15 所示。

表 3.7-15 GB/T 3480.5—2008 国标对表面内氧化深度要求

渗层深度/mm	表面内氧化深度要求 IGO/μm		渗层深度/mm	表面内氧化深度要求 IGO/μm	
	ME 级齿轮	MQ 级齿轮		ME 级齿轮	MQ 级齿轮
≤0.75	12	17	>2.25～3.00	25	50
>0.75～1.50	20	25	>3.00	30	60
>1.5～2.25	20	38			

底装料立式多用炉及 Ecocarb 渗碳新技术，可以有效防止渗层内氧化，实现高质量渗碳。与真空（低压）渗碳相比生产成本降低，并可直接有效控制表面碳含量，选择不同的淬火冷却介质以

减少畸变。

Ecocarb 渗碳工艺在底装料立式多用炉密封炉罐内进行，金属炉罐用来控制保温效果和保证炉子有良好的气氛惯性。炉子装备有一套非常高效的对流系统。不同的阻力（ΔP）、压力损失时，设计的风机能够保持恒定的流量。这个设计能保证温度均匀性≤±5℃，同样具有完美的气体对流和循环，并且可以快速净化炉子和快速气氛转换，并使热处理气氛均匀分布。

这个工艺的原理基本和所谓的“真空渗碳”是一样的，但是主要的区别于它并不需要真空。它可以分解为四个主要阶段（见图 3.7-4）。

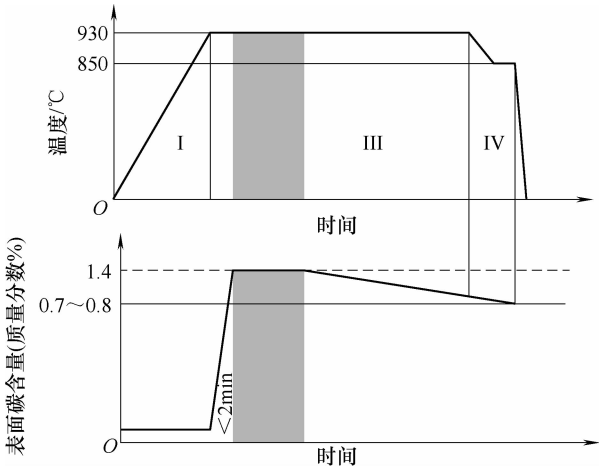


图 3.7-4 Ecocarb 渗碳工艺示意图

①加热阶段。加热是在纯氮气保护下升温至渗碳温度。这个周期的优点在于快速和均匀的加热，避免了任何影响工艺的表面氧化层产生。在这个阶段，工件表面碳含量=工件表面初始碳含量。

②渗碳阶段。当达到渗碳温度时，条件设为表面碳浓度 $C_s=C_{饱和}$（$C_{饱和}$为饱和碳浓度），表面碳浓度快速达到饱和是通过向炉内加入碳氢化合物获得的。达到饱和后（通常几分钟内 $C_s=C_{饱和}$）所需的碳是由几种不同方法提供的：补充的碳氢化合物脉冲式加入，与氮气吹扫净化阶段分开；控制碳氢化合物随时间的流动速度通过设定常规的碳势 $P_c=C_{饱和}$，优点在于通过氧探头很好地控制流动条件。对于这种情形，因为有金属炉罐，气氛转换快，C_s 几乎保留在 $C_s=C_{饱和}$，所以没有内氧化发生。

③扩散阶段和淬火阶段。扩散是从所有的碳进入到零件内开始的。扩散开始时 C_s = 可变量，直到获得所需的渗碳深度和最终的表面碳浓度。在这个扩散阶段，如果要控制表层组织的残留奥氏体可以在碳的分布上加氮。这可以通过精确控制氮的流动速度和在表层不增加碳浓度为更高值的情况下调整表层组织的残留奥氏体来实现。在最后阶段，通过使用热交换器的方式把温度降到淬火温度。然后，零件按照技术要求（变形、硬度等等）的不同浸入不同的可选淬火冷却介质。

在 P80 底装料立式多用炉进行了少无内氧化高质量试验。试验用料为 15CrA，工艺曲线如图 3.7-5 所示，试验结果表明，渗层深度为 0.82～0.86mm，内氧化层为 0.011～0.015mm，达到了≤0.015mm 的技术要求。

2）薄层渗碳、碳氮共渗应用研究。薄层渗碳、碳氮共渗一直是渗碳工艺困难问题，常规的井式炉、密封箱式多用炉由于碳势恢复较慢，要同时保证表面硬度和渗层深度比较困难，经常出现表面硬度不足或不均匀、表面碳浓度不够，或者渗层深度超差，所以对于薄层渗碳、碳氮共渗经常采用盐浴液体渗碳，这种工艺给环境造成很大污染，一直受环保限制。底装料立式多用炉由于具有气氛转换快的独特优点，可以解决薄层渗碳、碳氮共渗的技术关键。

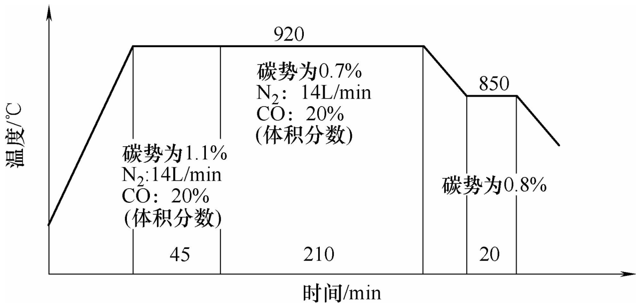


图 3.7-5 少无内氧化高质量渗碳工艺曲线

①控制表面碳浓度的薄层渗碳。某航空产品配重支架零件，材料为 16Ni3CrMoA，要求渗层深度为 0.40～0.50mm，渗层表层碳含量要求 0.70%～0.90%（质量分数）。

原采用井式渗碳炉渗碳，渗碳温度为 900℃，保温时间为 90～100min，渗剂为甲醇 + 煤油，生产中经常发生零件质量不稳定的问题，甚至出现表层碳含量超差的情况。

采用底装料立式多用炉处理后，使零件渗碳质量明显提高，具体工艺参数见表 3.7-16。采用低碳势保护加热、高碳热强渗以及要求碳势扩散工艺，解决了控制表面碳势的薄层渗碳技术关键。

表 3.7-16　底装料立式多用炉渗碳工艺参数

工部	装载	预热	强渗	扩散	卸载
温度/℃	885～905	900±5	900±5	900±5	900±5
时间/min	0	20	60	30	0
碳势(%)	0.3	0.3	1.1	0.9	0.9

热处理后检测结果：工件渗层深度为 0.45mm（经 820℃淬火和 140℃回火），工件表层碳含量为 0.78%（质量分数，采用剥层试棒取样，单边剥 0.1mm，并用化学法分析碳含量），符合技术要求。

②超薄层碳氮共渗。某航空产品操纵杆类零件，材料为 ZG35CrMnSi，要求碳氮共渗层深度 0.05～0.10mm，渗层表面硬度为 688～766HV。

原来使用普通井式渗碳炉进行碳氮共渗，存在的主要问题是工件经碳氮共渗并加工后，在最终盐浴淬火时常出现表面硬度不均匀的现象，严重地影响了产品质量。经分析，产生上述问题的实际原因是碳氮共渗时工件渗层及渗层表面碳含量不均匀。原来使用普通井式渗碳炉碳氮共渗时，在每次打开炉盖装载工件的过程中会带入大量的空气并造成炉膛降温，因此，工件入炉后的初期需要有一个升温、排气、预热及炉气恢复平衡的过程。但由于被处理的工件渗层要求太浅，整个工艺周期一共才 30min 左右（延长时间存在渗层超差的危险），炉内气氛尚没有完全恢复达到设定值，因此而造成了渗层不稳定。而采用底装料立式多用炉处理后，情况则截然不同了。首先，该炉的炉口是朝下的，当炉底打开装载零件时，不仅炉内的热损失少，而且在炉门开启的瞬间，系统的自动功能还将提供大流量的保护气体封住炉口从而保证炉内气氛的变化也在最小范围之内，恢复炉温后迅速提高碳势或氮势使炉温和气氛迅速恢复和达到设定值，保证了渗层深度和表面碳氮含量。

采用底装料立式多用炉生产后，使质量问题等到了有效解决，具体工艺参数见表 3.7-17。按表 3.7-17 工艺参数已处理多炉零件，其检测结果：渗层深度为 0.08mm，经最终淬回火后渗层表面硬度全部符合 688～766HV。此外，采用底装料立式多用炉碳氮共渗，还可以把原来井式炉碳氮共渗 + 盐炉淬火工艺改为碳氮共渗后直接淬火，提高了生产率和质量，减少了环境污染。

表 3.7-17　底装料立式多用炉碳氮共渗工艺程序单

工　部	装载	预热	保持	卸载
温度/℃	820±100	820±5	820±5	820±5
时间/min	0	15	20	0
碳势(%)	0.35	0.35	0.85	0.85
供氨量/(L/min)	0	0	0.5	0.5

3）少畸变热处理技术研究。渗碳件由于渗层和内部的碳含量不同，而且渗层中碳的浓度变化很大，所以在加热和冷却过程中除了有热应力和组织应力之外，还有由于表层与心部的碳含量和相

变温度的差异，引起组织转变和应力大小等的差异而造成的附加应力。渗碳件的最终应力状态取决于这三种应力叠加的结果，如图 3. 7-6 所示。

渗碳件的附加应力非常集中地分布在渗层上，而且往往是产生在较低的温度区间。当渗层确定是工件壁厚的一个主要部分时，附加应力成为主要因素引起工件畸变。如细长内孔的套筒类零件细长杆件、渗层不对称零件，渗碳的螺杆、螺杆特别是小而精密的渗碳件，渗层尺寸占较大比例时，附加应力会引起很明显的畸变。

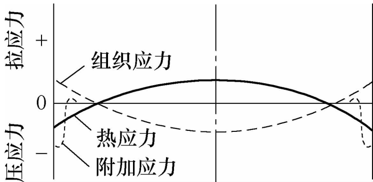


图 3. 7-6 渗碳淬火后截面上各种应力分布示意图

为了减少渗碳件的畸变，选择合适的淬火冷却介质，适当提高淬火冷却介质温度，选用双液淬火或分级淬火代替单液淬火等都是重要措施，底装料立式多用炉技术在少畸变工件的热处理中优势很大。

广州新豪公司（IPE 集团）生产的射钉枪枪管，其中型号为 2524，尺寸为 ϕ23mm × 128. 4mm，内孔 ϕ16mm，共有 81 个形状和尺寸要求，如图 3. 7-7 和表 3. 7-16 所示。其材料为 30CrNiMo8，热处理为渗碳、等温淬火、低温回火，渗碳为 890℃ ×160min，碳势为 1. 05%，淬火加热工艺为 780℃ ×60min，碳势为 1. 05%，等温淬火 240 ×60min，回火工艺为 200℃ ×180min。热处理技术要求：表面硬度（650 ±50）HV10，心部硬度（48 ±2）HRC。

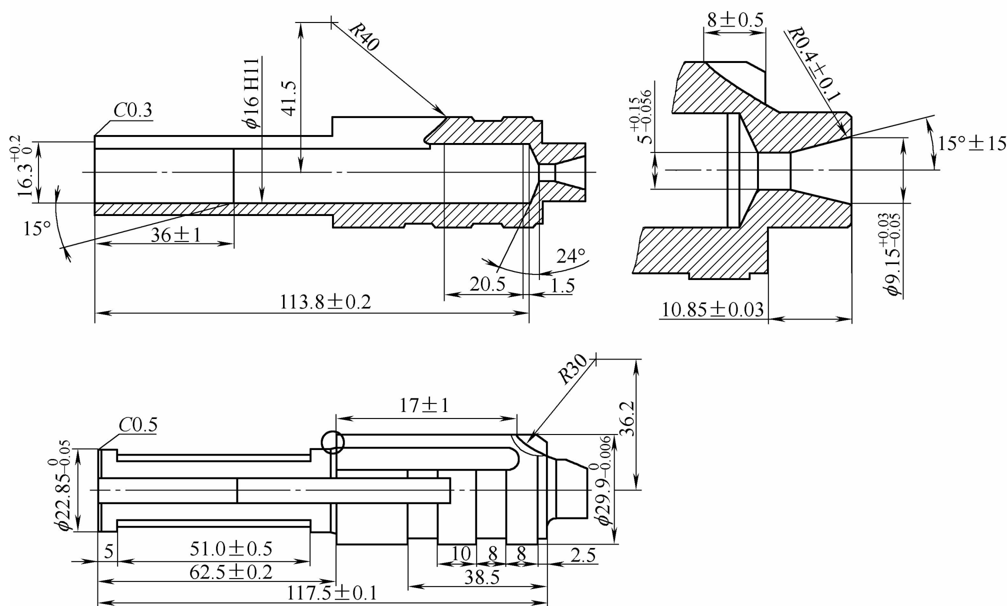


图 3. 7-7 IPE2524 型射钉枪枪管

采用底装料立式多用炉 P500 进行小批量试制，热处理 4 炉共 239 件，全部合格。其尺寸变化较少，如表 3. 7-18 所示。

表 3. 7-18 IPE2524 型射钉枪枪管热处理尺寸变化

尺寸代号	尺寸要求	项目	零件号								结论
			1	2	3	4	6	7	11	16	
3	$\phi16.3^{+0.2}_{0}$	尺寸	16. 3	16. 35	16. 37	16. 44	16. 4	16. 34	16. 42	16. 415	合格
		变化	−0. 125	−0. 07	−0. 06	−0. 1	−0. 05	−0. 06	−0. 07	0. 055	

（续）

尺寸代号	尺寸要求	项目	零件号								结论
			1	2	3	4	6	7	11	16	
26	113.8 ±0.2	尺寸	113.906	113.897	113.948	113.992	113.762	113.745	114.000	113.646	合格
		变化	−0.059	0.095	−0.027	0.066	−0.069	−0.107	0.099	−0.106	
37	10.85 ±0.03	尺寸	10.823	10.815	10.831	10.817	10.827	10.830	10.816	10.823	合格
		变化	−0.018	−0.11	−0.045	−0.025	−0.015	−0.009	−0.021	−0.021	
55	117.5 ±0.1	尺寸	117.364	117.371	117.371	117.389	117.383	117.383	117.386	117.499	合格
		变化	−0.14	−0.109	−0.153	−0.138	−0.093	−0.106	−0.099	−0.118	
56	62.5 ±0.2	尺寸	62.361	62.38	62.375	62.369	62.360	62.373	62.380	62.375	合格
		变化	−0.143	−0.098	−0.115	−0.105	−0.073	−0.022	−0.094	−0.095	

4）精密渗氮应用研究。在 P80 底装料立式渗氮炉上，进行了精密渗氮应用研究。试验材料采用 25Cr3MoA 钢，技术要求：渗氮层深度为 0.15～0.20mm、0.20～0.25mm、0.25～0.30mm、0.30～0.35mm、0.35～0.40mm；渗氮层金相组织：白亮层≤4μm，金相组织符合 HB 5022《航空钢制件渗氮金相组织检验》中 5 级以内的要求；渗氮层表面硬度≥800HV10；渗氮层磨去图样规定留磨量后，表面硬度≥800HV10。

渗氮采用的气源为氨气与氨分解气。渗氮工艺参数见表 3.7-19。渗氮炉为 P80 底装料立式渗氮炉。

表 3.7-19　渗氮工艺参数

炉批号	57	60	68	79	61	62
渗氮温度/℃	500	500	500	500	500	500
渗氮时间/h	12	20	32	36	43	45

该试验的氮势设置曲线如图 3.7-8 所示。参照渗氮时生成白亮层的氮势门槛值设定高氮势（γ_1），经过一定时间，扩散层外表面正好达到饱和，此时试样外表面出现白亮层。当在一个较短的时间内在渗层中建立较大的浓度梯度时，立即将氮势下降到 γ_2 低氮势。此后氮继续向内扩散，零件表面氮含量不再随时间的延长而继续提高，从而获得薄或无白亮层的渗氮层。

渗层深度、金相组织、表面硬度的试验结果列于表 3.7-20。考虑到有的零件在渗氮后要进行磨削，表 3.7-20 中也把按图样要求磨削后的表面硬度值一并列出。

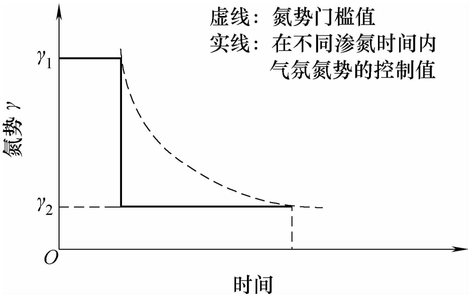


图 3.7-8　氮势设置曲线图

试验结果表明，渗层深度、金相组织、表面硬度均符合技术要求，白亮层没有或很小，符合技术协议白亮层≤4μm 的要求。

表 3.7-20　工艺试验结果

试验编号	57	60	68	79	61	62
渗层深度/mm	0.19	0.23	0.29	0.30	0.35	0.39

（续）

白亮层深度/μm	无	无	无	0.5～1	3～4	1～1.5
金相组织	氮化索氏体+氮化物，3级	氮化索氏体+氮化物，3级	氮化索氏体+氮化物，3级	氮化索氏体+半连续细网状氮化物，4级	氮化索氏体+半连续细网状氮化物，4级	氮化索氏体+半连续细网状氮化物，4级
表面硬度 HV10	934	962	960	1000	940	933
试样表面磨削量/mm，磨削后表面硬度HV10	0.018，831	0.026，892	0.05，907	0.056，998	0.061，920	0.08，907

（广东世创金属科技有限公司董小虹、梁先西供稿）

三、标准内容（JB/T 11806—2014）

可控气氛底装料立式多用炉热处理技术要求

1 范围

本标准规定了可控气氛底装料立式多用炉生产线的组成，生产线技术要求和可靠性要求，热处理工艺要求，工件质量控制与检验，生产过程安全、卫生和环保节能要求。

本标准适用于可控气氛底装料立式多用炉生产线的热处理。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 224 钢的脱碳层深度测定法

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）

GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 4341 金属肖氏硬度试验方法

GB 5959.1 电热装置的安全 第1部分：通用要求

GB 5959.4 电热装置的安全 第4部分：对电阻加热装置的特殊要求

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定法

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 9450 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核

GB/T 9451 钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1—2004 电热设备的试验方法 第1部分：通用部分

GB/T 10066.4—2004 电热设备的试验方法 第4部分：间接电阻炉

GB/T 10067.1 电热装置基本技术条件 第1部分：通用部分

GB/T 10067.4 电热装置基本技术条件 第4部分：间接电阻炉

GB/T 13324 热处理设备术语

GB/T 15318　热处理电炉节能监测
GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求
GB/T 16923　钢件的正火与退火
GB/T 16924　钢件的淬火与回火
GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法
GB/T 18177　钢件的气体渗氮
GB/T 25744　钢件渗碳淬火回火金相检验
GB/Z 18718　热处理节能技术导则
JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火
JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度检验通则
JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气一般技术要求
JB/T 7710　薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件　显微组织检测
JB/T 8195.11　间接电阻炉　第11部分：RB系列罩式炉
JB/T 8434　热处理环境保护技术要求
JB/T 9209　化学热处理渗剂　技术条件
JB/T 10175　热处理质量控制要求
JB/T 10312　钢箔测定碳势法
JB/T 10457　液态淬火冷却设备　技术条件

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 10066.1—2004、GB/T 10066.4—2004、GB/T 13324、JB/T 8195.11—2007界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1　底装料立式多用炉　bell-type multipurpose furnace

具有结构分离的立式加热炉、淬火槽及炉或槽传输机构，采用底开门形式，工件在底部装卸并在立式加热炉中加热和转移的多用途周期式炉。

注：淬火槽可选配水槽、盐水槽、聚合物水溶液槽、冷油或200℃热水槽、350℃或500℃盐浴淬火槽、气冷槽、缓冷槽。可以在可控气氛下完成对工件的渗碳、碳氮共渗、薄层渗碳、渗氮、氮碳共渗，以及可控保护气氛淬火、退火、正火、回火等热处理工艺。

3.2　超薄层渗碳　ultra sheet carburizing

工件渗碳淬火后，表面总硬化层深度或有效硬化层深度≤0.1mm。

4　底装料立式多用炉生产线组成

4.1　生产线组成

底装料立式多用炉生产线由可控气氛底装料立式多用炉、清洗机、回火炉、装卸料装置、装卸料台、操作系统、电气控制系统、气氛控制系统及废气废液收集处理装置等组成。可以分为可控气氛渗碳生产线和可控气氛渗氮生产线，可以在多种可控气氛下按预定工艺自动完成对工件的渗碳、碳氮共渗、薄层渗碳、超薄层渗碳、渗氮、氮碳共渗、淬火、调质、退火、回火、正火、固溶和时效等热处理工艺。整个生产过程除装卸料工作外，生产线能实现自动化运行。

4.2　型号和规格

底装料立式多用炉生产线一般按加热炉最大装载量或最大有效加热区尺寸划分为不同型号，以加热炉最大装载量划分的典型型号和主要参数见表1。一般按最高工作温度和工作特点划分为不同规格，典型的规格见表2。

表 1　底装料立式多用炉生产线典型型号及主要参数

型号	P50	P80	P150	P300	P500	P800	P1000	P1500	P3000
装载量/kg	50	80	150	300	500	800	1000	1500	3000
有效加热区高度/mm	300	600	700	700/1100	700/1100	900/1500	1000	1500	3300
有效加热区截面尺寸/mm	300×300	300×300	400×400	ϕ500	ϕ700	ϕ900	ϕ900 ϕ950 ϕ1100	ϕ1100	ϕ2000

表 2　底装料立式多用炉生产线典型规格

组成名称		规格
底装料立式多用炉	加热炉	炉体移动式或炉塞移动式，最高工作温度 700℃
		炉体移动式或淬火槽移动式，最高工作温度 850℃
		炉体移动式或淬火槽移动式，最高工作温度 950℃
		炉体移动式或淬火槽移动式，最高工作温度 1050℃
	淬火槽	最高工作温度 60℃
		最高工作温度 100℃
		最高工作温度 200℃
		最高工作温度 350℃
		最高工作温度 500℃
	缓冷槽	带保护气氛
回火炉		炉体移动式，最高工作温度 450℃
		炉体移动式，最高工作温度 650℃
		炉塞移动式，最高工作温度 450℃
		炉塞移动式，最高工作温度 650℃
清洗机		油清洗机
		盐清洗机
装卸装置		手动叉车
		自动机械手
装卸料台		单卸料台、双卸料台、3 卸料台、4 卸料台等
控制系统		计算机半自动控制系统
		计算机全自动控制系统

5　生产线技术要求

5.1　一般要求

5.1.1　底装料立式多用炉生产线的组成配置、热处理工艺、温度控制系统、碳势或氮势控制系统等应能满足产品的技术要求和生产率要求。

5.1.2　底装料立式多用炉生产线的设计和制造应满足 GB 5959.1、GB 5959.4、GB/T 10067.1、GB/T 10067.4 及 JB/T 10175、JB/T 8195.11 的规定。

5.2　底装料立式加热炉

5.2.1　结构

加热炉为倒置井式炉结构，主要由炉壳、炉衬、加热元件、炉罐、炉塞、料具保持机构、升降

机构、移动装置、炉气循环系统、测温装置等组成。

5.2.1.1　炉壳由钢板和型钢焊接而成，整个炉壳应具有足够的强度、刚度和良好的密封性，其炉底固定炉罐，便于更换、维修。气体进出口、热电偶和加热元件引出棒的出口处均应采用密封结构。

5.2.1.2　炉衬的材料和结构应能满足炉体的性能要求，除易碰撞的部位外全部采用轻型耐火纤维材料。

5.2.1.3　炉罐应采用能满足多用炉工作条件及使用寿命的耐热合金材料制成，炉罐保证工作温度下不产生有碍正常工作的畸变。渗氮和氮碳共渗炉炉罐应采用抗渗氮材料制造。

5.2.1.4　加热元件应能满足多用炉的工作要求。元件的安装牢固，在正常工作条件下不应产生位移和松动。加热元件应方便拆卸和更换。

5.2.1.5　工件料具由炉底托持机构或吊装机悬吊在加热炉中加热和转移，这些机构必须保证装载工件的料具准确保持在加热炉炉罐有效加热区范围内。

5.2.1.6　炉塞机构由炉塞和炉塞升降机组成。炉塞由升降机提升或下降，以方便关闭或开启炉门。炉塞由钢结构的塞盘和耐火材料组成，并有炉温均匀性检测口、炉气和试样取样孔。炉塞与炉体采用石英砂或陶瓷纤维填料密封，炉塞在最高温度下应保证不变形和密封良好。

5.2.1.7　炉体传动机构可以采用双梁滑动机构，也可采用门式运行机构。炉体传动系统保证在最大装载量的情况下，炉体能平稳、及时、准确地走行到淬火槽上方和返回，并有防止越位的安全措施。处理的工件在炉内加热状态下转移到淬火槽上方，转移过程中通保护气保护，保证工件在转移过程中不产生氧化脱碳，温度降低符合工艺要求。

5.2.1.8　炉气循环系统包括具有耐蚀耐热材料风叶的风机和导风罩，保证炉气强迫循环。风机轴应具有良好的密封和可靠的冷却，当风机因故障停转时，能自动切断加热电源。

5.2.2　温度

5.2.2.1　渗碳（含碳氮共渗，下同）淬火炉的最高工作温度可为850℃、950℃、1050℃，渗氮（含氮碳共渗，下同）炉的最高工作温度一般为700℃。

5.2.2.2　渗碳、淬火炉有效加热区温度均匀性为±5℃、±8℃、±10℃三个档次，渗氮炉有效加热区温度均匀性为±3℃、±5℃两个档次。温度均匀性测定方法应符合GB/T 9452的规定，加热炉的控温和记录系统应符合JB/T 10175的规定。

5.2.3　气氛

5.2.3.1　渗碳、淬火炉气氛为可控渗碳气氛，主要有：

——氮-甲醇+富化气；

——甲醇+富化气；

——吸热式气氛；

——放热式气氛+富化气；

——直生式气氛。

5.2.3.2　渗氮炉气氛为可控渗氮气氛，主要有：

——氨裂解气氛+氨气；

——氨裂解气氛+氨气+二氧化碳（或丙烷）。

5.2.3.3　渗剂和载气应符合JB/T 9209和JB/T 7530的规定。

5.2.3.4　渗碳气氛的碳势一般采用氧探头控制，碳势控制精度应不大于±0.05%。渗氮气氛氮势可采用氢探头、氢分析仪、氨红外仪控制，氮势控制精度以氨分解率波动来衡量，应控制在±1.0%以内。

5.2.3.5　底装料立式多用炉应具有良好的密封性，保持炉内正压，并可以适当调整炉压。渗碳炉、淬火炉一般采用两道密封；渗氮炉可采用硬化纤维带或耐热橡胶两道密封。

5.3　淬火槽

5.3.1　一般要求

5.3.1.1　底装料立式多用炉可配备多个不同的淬火槽，包括水槽、盐水槽、聚合物水溶液槽、冷油或200℃热水槽、350℃或500℃盐浴淬火槽，气冷槽。液态淬火槽应符合JB/T 10457的规定。

5.3.1.2　淬火槽主要由槽体、加热系统、冷却系统、循环系统、升降机构和槽盖、液位控制装置等组成。加热系统、冷却系统和循环系统使介质温度应能自动控制；淬火槽内升降机构保证工件下落、上升平稳可靠；淬火槽容积应保证在最大装载量的情况下满足淬火介质的温升要求，淬火槽上方配有槽盖，不用时可封盖，防止灰尘等污染。

5.3.1.3　淬火转移时间应≤15s，淬火转移时间为工件自加热炉中开始移动至完全浸没在淬火介质中的时间。

5.3.2　淬火油槽

5.3.2.1　淬火油槽的电加热系统应能自动控制温度，热油油槽内槽四周应设有陶瓷纤维材料保温层，能在室温至200℃间的任何设定温度下使淬火油的温度变化维持在±10℃的范围内，并配备有超温报警系统。

5.3.2.2　淬火油槽冷却系统包括空气冷却型热交换器和泵等，其冷却系统能使重量为最大允许装载量的工件于950℃下淬火时，淬火油的最高温升不大于20℃。

5.3.2.3　淬火油槽的油面上方应设置表面吹氮气保护和灭火装置。

5.3.3　淬火盐槽

5.3.3.1　淬火盐槽的电加热系统应能自动控制温度，盐槽内槽四周应设有陶瓷纤维材料保温层，能在150～350℃和350～500℃间的任何设定温度下使淬火介质的温度变化维持在±10℃的范围内，并配备有超温报警系统。

5.3.3.2　淬火盐槽的冷却系统采用槽壁夹层鼓风机冷却，或者用储备盐槽循环交换冷却方式冷却，其冷却系统能使重量为最大允许装载量的工件于950℃下淬火时，淬火介质的最高温升不大于20℃。

5.3.3.3　淬火盐槽内槽一般用不锈钢制成。

5.3.4　淬火水槽

5.3.4.1　淬火水槽的电加热系统应能自动控制温度，能在室温至60℃间使淬火水或水溶液温度变化维持在±10℃的范围内，并配备有超温报警系统。

5.3.4.2　淬火水槽的冷却系统包括空气换热器和泵等，其冷却系统能使重量为最大允许装载量的工件于950℃下淬火时，淬火介质的最高温升不大于20℃。

5.3.4.3　淬火水槽内槽一般用不锈钢制成。

5.3.5　升降装置

升降装置的设计应保证在最大装载量的情况下，能平稳地快速升降，并有防止越位的安全措施。

5.4　缓冷槽

5.4.1　缓冷槽应通入保护气氛或抽真空以防止冷却时氧化脱碳。

5.4.2　冷却槽壁内通入冷却水冷却。

5.4.3　通过变频循环风扇调节冷却速度，保证槽内工件均匀冷却。

5.5　清洗机

5.5.1　清洗机由洗涤室、清洗槽、喷淋系统、烘干系统等组成。清洗机为箱式结构，前端设密封炉门，在水平方向上装料和出料。

5.5.2　主要清洗装置应采用耐腐蚀金属材料制造。

5.5.3　清洗机设有废油回收装置或盐回收处理装置，盐回收处理装置对清洗后清洗废液中的盐进行处理回收再利用。

5.6　回火炉

5.6.1　一般要求

5.6.1.1　回火炉可为罩式或底装料立式结构，也可以采用其他结构形式。主要由炉壳、炉衬、加热元件、升降机构、炉气循环系统及快速风冷系统等组成。

5.6.1.2　回火炉可分为高温回火炉和低温回火炉。高温回火炉最高工作温度一般为650℃，低温回火炉最高工作温度一般为450℃。回火炉的温度均匀性为±5℃、±10℃两个档次，温度均匀性的测定方法应符合 GB/T 9452 的规定。回火炉的控温和记录系统应符合 JB/T 10175 的规定。

5.6.2　炉气循环系统

循环风机和导风装置等组成炉气循环系统，保证炉气和炉温均匀，并具有充氮或其他保护气的保护功能。

5.6.3　快速风冷系统

快速风冷系统在回火加热保温后向炉体与炉罐间通入冷却风，使回火工件快速冷却，减少或避免回火脆性，提高生产效率。

5.7　装卸料装置

装卸料装置可以是手动叉车，或者自动机械手。它必须保证准确地在加热炉、淬火槽、清洗机、回火炉及装卸料台上装卸、运送工件和料具。

5.8　装卸料台

装卸料台可以根据生产量和工艺流程选一个或多个。装卸料台应能方便地放置料具，便于装卸料具和工件。

5.9　电气控制系统

5.9.1　温度控制系统

温度控制系统由控温仪表、记录仪表、超温报警装置和供电装置等组成。每个加热区至少应有两支热电偶，分别与控温仪表、记录仪表连接，其中之一与超温报警装置连接。温度仪表应符合 JB/T 10175 的规定。

5.9.2　运行控制系统

运行控制系统由可编程控制器、电动机、行程开关、电磁阀等组成，保证实现安全操作和运行。电气控制系统由电气控制柜和电气控制盒组成。每台设备有一个控制柜或控制盒，控制盒放置在设备旁，应能方便地进行手动和自动操作，各状态应能互锁，保证设备安全。

5.10　气氛控制系统

渗碳、淬火炉气氛控制系统由氧探头、碳势控制仪、流量计、控制阀、电磁阀等组成。渗氮炉气氛控制系统由氢探头、氢分析仪或氨红外分析仪、氮势控制仪、质量流量计、控制阀等组成。

5.11　计算机操作系统

计算机操作系统为半自动控制系统或全自动控制系统，可对生产和工艺全过程进行控制和记录。

6　生产线可靠性要求

6.1　生产线故障分类

一类故障——在生产中发生必须停炉降温检修的故障。

二类故障——在生产中炉内发生可在不影响生产的情况下迅速修复的故障。

三类故障——在生产中发生属于电器元件质量、安装不牢固或运行不顺畅等只需稍作紧固或调整即可解决的故障。

注：对易耗品的正常损坏和更换不视为故障。

6.2 生产线可靠性指标

6.2.1 1年内不得出现因设备设计制造不当造成的一类故障。

6.2.2 六个月内不得出现因设备设计制造不当造成的二类故障。

6.2.3 一个月内三类故障不得出现超过3次。

6.2.4 渗碳、保护气氛热处理生产线的加热元件、炉罐、风机和导风系统的寿命应不低于1年；渗氮炉的加热元件、炉罐、风机和导风系统的寿命应不低于2年。

6.2.5 加热炉炉衬大修期应不少于4年。

7 热处理工艺要求

7.1 工艺类型及典型工艺流程

7.1.1 工艺类型

底装料立式多用炉生产线可以实现渗碳，薄层渗碳，渗氮，保护气氛淬火和回火，调质，退火，正火，固溶和时效等热处理工艺。

7.1.2 薄层和超薄层渗碳工艺流程

前清洗→保温前期保持基体材料碳含量的碳势→保温后期升至渗碳所需高碳势→淬火→清洗→回火。

7.1.3 少无内氧化高质量渗碳工艺流程

前清洗→保温前期保持超高碳势［碳含量（质量分数）为1.1%～1.4%］→保温后期降低至渗碳所需的高碳势→淬火→清洗→回火。

7.1.4 保护气氛淬火工艺流程

前清洗→保温期保持与基体碳含量相当或略高的碳势→淬火→清洗→回火。

7.1.5 精密可控渗氮

前清洗→两段或多段渗氮，参照白亮层氮势门槛值曲线选取氮势，前段高氮势，后段低氮势→保护状态下冷却。

7.2 工艺规范

7.2.1 根据工件的特征（材料牌号，处理前的状态、形状和尺寸及后续加工工序等）、热处理要求、批量及设备条件等，制订合理的热处理工艺。渗碳工艺应符合JB/T 3999的规定，渗氮工艺应符合GB/T 18177的规定，淬火和回火工艺应符合GB/T 16924的规定，正火和退火工艺应符合GB/T 16923的规定。

7.2.2 加热炉有效加热区的温度均匀性和控温精度，应根据工件材质、热处理工艺特点和质量要求确定，并应符合JB/T 3999、GB/T 18177、GB/T 16924、GB/T 16923的规定。

7.3 工艺过程

7.3.1 工件

7.3.1.1 工件材料的化学成分等要求应符合有关标准的规定。

7.3.1.2 工件状态（材料的原始组织和性能指标、毛坯制造方法、加工方法、热处理前的预备热处理等）应符合相关技术要求。

7.3.1.3 工件形状、尺寸、数量应符合技术要求和任务书要求，外观应无裂纹、伤痕、锈斑等缺

陷。

7.3.2　清洗

入炉前对工件进行清理和清洗，去除油污、污物、切屑等污染物，并应吹（烘）干。清洗过程不能对工件表面产生有害影响。

7.3.3　装炉

7.3.3.1　根据工件的形状、尺寸、重量及对畸变的要求，设计使用合适的工装夹具及装料方式，工件应均匀分布，并使炉气循环畅通。装料应保证加热时工件处于有效加热区范围内。

7.3.3.2　渗碳或渗氮工件的渗碳或渗氮面应设法避免或减少互相接触，防渗部位的防渗措施应有效和恰当。

7.3.4　渗碳或渗氮

7.3.4.1　根据工件材料、技术要求、生产批量等合理选择渗碳的温度、碳势或氮势等参数。

7.3.4.2　通过对先期试件的检查和定碳或定氮试样抽查，确定渗碳或渗氮工艺参数和过程控制。定碳试样碳势检查应符合 JB/T 10312 的规定。

7.3.5　淬火

7.3.5.1　渗碳工件可以采取直接淬火、预冷淬火或二次淬火。二次淬火加热应采取保护气氛，碳势选择与渗碳件表面碳含量相当的碳势。保护气氛淬火加热的碳势选择与工件相当或略高的碳势。

7.3.5.2　淬火转移时，加热炉应通入甲醇、氮气或氩气保护，并持续加热，使工件在转移过程中的温度符合工艺要求。

7.3.5.3　根据工件性能、畸变等要求，合理选择淬火介质，可以选择水、盐水、聚合物水溶液、油、盐浴、缓冷、气冷等。

7.3.6　回火

7.3.6.1　淬火后应及时回火。

7.3.6.2　回火操作应严格按回火工艺规范执行。

8　工件质量控制与检验

8.1　质量控制

热处理工件的质量控制应符合 JB/T 10175 的规定。

8.2　质量检验

8.2.1　外观

工件表面应无裂纹、伤痕及锈斑，表面质量应满足产品和后续工序的要求。

8.2.2　硬度

表面硬度和心部硬度均应符合图样或技术条件的要求，其偏差值应符合 JB/T 3999、GB/T 18177、GB/T 16924、GB/T 16923 的规定。

硬度的测量应符合 GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、JB/T 6050 的规定。

8.2.3　有效硬化层深度

有效硬化层深度应符合图样或技术条件的要求，其偏差值应符合 JB/T 3999、GB/T 18177 的规定。有效硬化层深度的测定方法应符合 GB/T 9450 和 GB/T 9451 的规定。

8.2.4　金相组织

晶粒度的测定应符合 GB/T 6394 的规定，表面脱碳层深度的测定应符合 GB/T 224 的规定，渗碳淬火回火金相组织的检验应符合 GB/T 25744 的规定，薄层渗碳金相组织的检测应符合 JB/T 7710 的规定，其他金相组织的检验按有关标准规定进行。

8.2.5　畸变

畸变应符合图样或技术条件要求。

8.2.6 其他

根据产品要求，进行拉伸、弯曲、冲击、扭转、耐蚀性等项目的检测，检测方法按有关标准规定执行。

9 生产过程安全、卫生和环境保护要求

9.1 生产线的生产装置，安全、卫生防护技术措施，安全、卫生管理措施等应符合 GB 15735、GB 5959.1、GB 5959.4 和 JB 8434 的规定。

9.2 整条生产线运行中的所有相关动作都应设置电气安全联锁装置和相关程序互锁。特别是炉内气氛搅拌和加热互锁，淬火槽循环搅拌和工件淬火互锁，工件动作和炉塞、淬火槽盖、升降机动作互锁等。

9.3 可控气氛底装料立式多用炉生产线加热炉和回火炉应设置快速充氮装置。

9.4 炉膛温度低于750℃时不得向炉内通入可燃气体，温度控制和流量计控制程序联锁。

9.5 在结冰天气或长时间停炉时，应注意排放管路中的残水，以防止冻坏部件及管道。

9.6 在所有机械传动裸露部分和电器接头裸露部分都应安装防护罩，并设通风孔。

9.7 当设备发生故障或工艺参数异常时，应能发出声光报警信号。可采用故障自诊系统和远程监控系统，及时排除故障和调整工艺参数。

9.8 当生产场所发生停电、停气、停水等突发情况时，设备本身应有相应的安全措施，以保护人员、设备及工件等的安全。操作人员上岗前应对其进行必要的安全培训，需持证上岗。

9.9 在所有可能造成人员伤害的地方设置警告牌。

9.10 化学危险品采用专用仓库储存，化学危险品专用仓库应设置明显的标志并制定防护措施，设备和安全设施应当定期检查。

9.11 生产场所的噪声应符合 GB 15735 的规定，一般不超过 80dB。

9.12 生产线热处理生产中产生的废水、废液、废气、废渣等应采取措施进行收集和处理，不得对环境造成不良影响。

9.13 加热炉产生的废气及淬火槽的油烟应经点燃或适当处理后再排放。

9.14 油污清洗机必须设有油水分离装置，以保证清洗油污的分离和回收。盐清洗机应设有盐回收处理装置，以保证清洗废盐液全部处理回收再利用。

9.15 整条生产线所有管路均不得有泄漏现象。

9.16 生产线应采用节能、环保的隔热材料。

10 节能要求

10.1 生产线热处理生产按 GB/Z 18718 节能措施的规定执行。

10.2 生产线热处理生产的电耗应符合 GB/T 17358 和 GB/T 15318 的规定。

第八节 真空高压气淬炉热处理技术要求

一、概论

真空热处理是指金属制件在真空或先抽真空后通惰性气体条件下加热，然后在油或气体中淬火冷却的技术。由于真空热处理时，工件基本不氧化，钢件不脱碳，采用通气对流加热方式还可使加热均匀，减少表面和心部的温差，从而也减少畸变。目前它已成为优质工模具不可或缺和首选的热处理工艺。更为可贵的是，真空热处理在生产过程中不会产生任何污染环境的物质，从而被大家公

认属于清洁生产技术范畴。可以毫不夸张地说，真空热处理已成为当前先进热处理生产技术的主要标志。高速钢和高碳高合金模具钢、工模具经过真空加热油中淬火后，在刃部和薄壁部分表面会出现由合金碳化物构成的高硬度白亮层，脆性很大，服役时易崩刃，造成早期失效。高速钢的熔点较低，淬火加热的奥氏体化温度接近熔点，在真空中加热时，表面得到很大程度的净化，使表层原子保持较高的活性，而在处于一定真空度下的油中淬火冷却时，工模具在油气膜的瞬间表面也会增碳，从而进一步降低熔点，以致表面局部出现熔化现象，所以高碳高合金工模具钢真空加热后在油中淬火是不可行的。高碳、高合金工模具钢真空加热奥氏体化后在惰性、中性或还原性气体中淬火冷却保证质量的唯一可行途径。但是负压和常压下的气冷不能使大型工件或批量炉料都获得好的淬硬效果。一则气体本身也需要冷却，二则在有限体积条件下要增加气体的冷却能力，只有靠增加冷却气体的量，即提高冷却气体的压力来实现。正是在这一前提下，真空高压气淬作为一种真空热处理技术，自 20 世纪 70 年代逐渐发展起来，它具有油冷淬火、盐浴淬火不可比拟的优点：①工件表面质量好，无氧化，无脱碳，无元素贫化，可以使零件脱脂、脱气，避免表面污染和氢脆；②淬火均匀性好，工件变形小；③淬火强度可控性好，冷却速度能够通过改变气体压力和流速进行控制；④生产便于自动化、柔性化，生产率高；⑤工件气冷后可省去清洗工序，无环境污染等。这些优点使得真空高压气淬技术适合于大批量、规模化生产。因而，积极研制环保型真空高压气淬炉符合当前热处理发展方向。在近 40 年的时间内，真空高压气淬技术得到了迅速发展、推广和应用，特别是随着淬火压力的提高，使得真空热处理的材质范围进一步扩大，工件淬火硬度和可淬硬尺寸得到了明显提高，2MPa 氦气和氮气混合气体的超高压气淬炉在处理大截面尺寸工件时，已达到或接近油冷水平，4MPa 氢气淬火炉在实验室条件下能达到水冷水平。目前真空高压气淬炉主要用于高合金工具钢、高速钢、不锈钢的高压气淬及高温合金、磁性材料等的真空退火、不锈钢和钛合金的固溶处理，同时还用于粉末冶金件真空烧结，不锈钢及铜制品的钎焊等，在航空航天、工模具、汽车零部件、家电等行业正快速推广使用。在先进的工业国家，如欧美、日本等主流真空高压气淬炉气淬压力已达 1 ~ 2MPa，真空高压气淬技术已成为高速钢、高合金模具钢等热处理的主导工艺。

鉴于真空高压气淬热处理的重要性和广泛性，急需制定相应的标准，因而制定了 JB/T 11810—2014《真空高压气淬炉热处理技术要求》，并将其推广。

根据真空高压气淬技术的最新发展情况，该标准明确了真空高压气淬炉的定义、分类、设备要求及工艺材料、工艺过程、质量控制和检验等条款内容。

该标准明确了设备本身防止突发事件时的安全措施及安全防护内容，考虑了生产过程中的安全环保因素。

二、标准应用说明

1. 编制原则

本标准的制定遵循“面向市场、服务行业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则。

（1）本标准的制定在参考总结 GB/T 22561《真空热处理》、JB/T 8195.3《间接电阻炉 ZR 系列真空热处理和钎焊炉》、JB/T 8195.4《间接电阻炉 ZC 系列真空淬火炉》经验的基础上进行的首次制定。

（2）本标准的制定是根据市场实际需求和制造企业实际设计生产的能力，明确了真空高压气淬炉的概念，规定了本标准的适用范围。

（3）根据真空高压气淬炉的最新发展情况，明确了真空高压气淬炉的构成、工作温度、基本参数及技术条件等条款内容。

（4）明确了设备本身防止突发事件时的各类安全措施及安全防护内容。

（5）考虑设备在生产过程中的安全环保因素。

（6）该标准的制定体现了小批量，多品种，以用户订单生产为主，满足用户需求，遵守技术协议的原则，技术要求主要体现真空高压气淬炉主要性能特征，如极限真空度、压升率、抽气时间和气淬压力等。

（7）本标准的制定遵循国家法规，未与国家现行的有关标准和原则相矛盾。

（8）本标准结构方面严格按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则　第1部分：标准的结构和编写规则》编写，将其转化为符合行业的标准文件。

（9）编制工作力求"务求实效，细化要求，提高质量，增强可操作性"的原则。

2. 主要内容

（1）范围：本标准规定了真空高压气淬炉的产品定义、技术要求、试验方法和检验规则，适用于真空高压气淬炉的设计、制造和使用，以及满足多种工艺的要求。

（2）强调了设备在生产过程中的安全环保要求。

（3）本标准主要包括产品的分类、基本参数、一般要求、工作条件、设计和制造要求、性能要求、试验方法、安全生产、环保要求等方面内容。

（4）制定该标准的基本参数见表3.8-1。

表3.8-1　基本参数

最高温度/℃	1350
工作温度/℃	550～1300
工作真空度/Pa	常规工作真空度≤5
	高工作真空度≤5×10^{-2}
极限真空度/Pa	常规极限真空度≤5×10^{-1}
	高极限真空度≤5×10^{-3}
淬火条件下的氮气压力/MPa	≤2.0
空炉升温时间(1050℃)/min	≤60
空炉抽气时间/min	工作区容积≤$1m^3$：≤20
	$1m^3$＜工作区容积＜$5m^3$：≤40
	工作区容积≥$5m^3$：≤60
常规炉温均匀度/℃	±5
炉壳表面温升/℃	20
常规压升率/(Pa/h)	工作区容积≤$1m^3$：≤0.65
	$1m^3$＜工作区容积＜$5m^3$：≤0.5
	工作区容积≥$5m^3$：≤0.3

3. 解决的主要问题

本标准属产业结构调整与优化升级型、战略型新兴产业培育中节能、环保型技术标准，填补了我国热处理企业用真空高压气淬炉技术要求标准方面的空白。本标准的制定为真空高压气淬炉统一了定义、规范了基本参数、工作条件、性能要求、试验方法、安全生产及环保等方面的要求，为企业在真空高压气淬炉的选型、使用及安全等方面提供了依据。

4. 主要试验（或验证）情况分析

（1）真空高压气淬炉主要技术参数的试验（试验炉型为 VKNQ669）

1）空炉升温速度试验。测试了空炉状态下从室温升到1050℃的升温速度。测试结果表明，VKNQ669空炉状态下从室温升到1050℃时间约为48min，符合设备要求。

2）空炉抽空时间试验。通过装在设备上的真空测量系统来显示测量结果。2级泵测试只需要打开第一通道真空探头，3级泵组测试需要打开第二通道真空探头测试。实际从大气压抽至5Pa的时间为15min，从扩散泵开始抽气至5×10^{-2}Pa，时间为6min，两个时间都符合设备的要求。

3）极限真空度试验。测试是在空炉、冷态、干燥的状态下进行的，极限真空度应符合该设备的设计要求（$\leqslant5\times10^{-3}$Pa）。通过装在设备上的真空测量系统来显示测量结果，极限真空度能够达到4.72×10^{-3}Pa，符合设备的设计要求。

4）压升率试验。压升率的测试持续时间不得少于8h。其结果应符合设计要求（≤0.3Pa/h）。测试结果如表3.8-2所示。从表3.8-2中可以看出，8h后，$\Delta P=2.55\text{Pa}-0.55\text{Pa}=2\text{Pa}$，压升率为0.25Pa/h，结果符合设计要求。

表3.8-2　压升率试验结果

时间(时:分)	真空度/Pa	时间(时:分)	真空度/Pa
8:30	0.55	13:30	1.85
9:30	0.835	14:30	2.08
10:30	1.11	15:30	2.30
11:30	1.36	16:30	2.55
12:30	1.59		

5）炉温均匀性的试验。在空载和满载条件下对VKNQ669进行炉温均匀性试验。测试按GB/T 9452—2003《热处理炉有效加热区测定方法》，采用9点测温，测定温度选择930℃和1050℃，满载测试时装料550kg，炉温均匀性测试结果如表3.8-3～表3.8-6所示。试验结果表明，炉子空载时炉温均匀性≤±2℃，满载时炉温均匀性≤±3℃，其结果符合设计要求。

表3.8-3　空载930℃时炉温均匀性试验结果

热电偶编号	时间(时：分)									
	9：00	9：02	9：04	9：06	9：08	9：10	9：12	9：14	9：16	9：18
	实测温度/℃									
1	927.9	927.8	927.6	927.9	928.1	928.2	927.9	928.3	928.1	928.2
2	927.6	927.5	927.8	928.2	928.3	928.4	928.6	928.4	928.2	928.3
3	930.0	930.2	930.5	928.4	928.5	928.6	928.7	928.7	928.5	928.8
4	927.7	928.4	927.8	928.6	928.6	929.1	928.9	928.6	928.5	929.1
5	927.5	928.3	928.1	928.5	928.8	929.0	929.1	929.0	929.2	929.3
6	931.1	931.3	931.2	931.6	931.8	931.9	931.6	932.0	931.9	931.7
7	930.6	930.7	930.2	930.7	930.5	930.4	929.9	930.2	930.1	930.6
8	930.8	930.6	930.3	930.6	930.7	930.5	930.3	930.6	930.7	930.3
9	930.7	931.2	930.8	930.9	930.2	930.4	930.5	930.2	930.6	930.1
T_{max}	931.1	931.2	931.2	931.6	931.8	931.9	931.6	932.0	931.9	931.7
T_{min}	927.5	927.5	927.6	927.9	928.1	928.2	927.9	928.3	928.1	928.2
ΔT	3.6	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.5
ΔT_{max}	3.8									

表 3.8-4 空载 1050℃时炉温均匀性试验结果

热电偶编号	时间(时：分)									
	11：00	11：02	11：04	11：06	11：08	11：10	11：12	11：14	11：16	11：18
	实测温度/℃									
1	1047.8	1048.1	1048.2	1048.0	1048.1	1048.3	1047.9	1048.0	1048.1	1048.2
2	1048.6	1048.5	1048.8	1048.2	1048.3	1048.4	1048.6	1048.4	1048.2	1048.3
3	1050.0	1050.2	1049.5	1049.4	1049.5	1049.6	1048.7	1048.7	1048.5	1048.8
4	1048.7	1048.4	1048.8	1048.6	1048.6	1049.1	1048.9	1048.6	1048.5	1049.1
5	1049.5	1049.3	1049.1	1049.5	1049.8	1049.0	1049.1	1049.0	1049.2	1049.3
6	1051.7	1051.8	1051.9	1051.8	1051.6	1051.1	1050.7	1051.4	1051.7	1051.7
7	1050.6	1050.7	1050.2	1050.7	1050.5	1050.4	1049.9	1050.2	1050.1	1050.6
8	1050.8	1050.6	1050.3	1050.6	1050.7	1050.5	1050.3	1050.6	1050.7	1050.3
9	1050.7	1050.2	1050.8	1050.9	1050.2	1050.4	1050.5	1050.2	1050.6	1050.1
T_{max}	1051.7	1051.8	1051.9	1051.8	1051.6	1051.8	1051.5	1051.9	1051.7	1051.7
T_{min}	1047.8	1048.1	1048.2	1048.0	1048.1	1048.3	1047.9	1048.0	1048.1	1048.2
ΔT	3.9	3.6	3.7	3.8	3.5	3.5	3.6	3.9	3.6	3.5
ΔT_{max}	3.9									

表 3.8-5 满载 930℃时炉温均匀性试验结果

热电偶编号	时间(时：分)									
	10：00	10：02	10：04	10：06	10：08	10：10	10：12	10：14	10：16	10：18
	实测温度/℃									
1	927.3	927.4	927.6	927.5	927.7	928.0	927.5	927.8	928.1	928.2
2	927.5	927.6	927.8	928.1	928.0	928.3	927.9	928.6	928.2	928.6
3	928.2	929.2	930.6	928.2	928.3	928.5	928.3	928.5	928.7	928.8
4	928.5	928.8	927.9	928.5	928.5	928.9	928.6	928.7	928.5	929.1
5	928.3	928.9	929.1	928.6	928.3	929.1	929.1	929.1	929.2	929.1
6	931.8	931.9	932.1	931.8	932.2	932.4	931.9	932.3	932.7	932.7
7	930.4	930.5	930.9	930.5	930.5	931.4	930.6	931.2	931.1	931.6
8	930.3	930.6	930.8	930.8	930.7	930.8	930.9	931.6	930.9	931.3
9	930.6	930.9	930.7	930.9	931.2	930.9	931.5	931.2	931.6	930.9
T_{max}	931.8	931.9	932.1	931.8	932.2	932.4	931.9	932.3	932.7	932.7
T_{min}	927.3	927.4	927.4	927.5	927.7	928.0	927.5	927.8	928.1	928.2
ΔT	4.5	4.5	4.7	4.3	4.5	4.4	4.4	4.5	4.6	4.5
ΔT_{max}	4.6									

表 3.8-6 满载 1050℃时炉温均匀性试验结果

热电偶编号	时间(时：分)									
	13：30	13：32	13：34	13：36	13：38	13：40	13：42	13：44	13：46	13：48
	实测温度/℃									
1	1047.3	1047.5	1047.6	1047.8	1048.1	1047.5	1047.9	1047.5	1047.7	1047.9
2	1047.6	1048.2	1047.8	1048.2	1048.3	1048.4	1048.7	1048.2	1048.3	1048.4
3	1048.0	1048.7	1048.5	1049.4	1049.5	1049.2	1048.8	1048.6	1048.5	1048.7

（续）

热电偶编号	时间（时：分）									
	13：30	13：32	13：34	13：36	13：38	13：40	13：42	13：44	13：46	13：48
	实测温度/℃									
4	1048.7	1048.8	1048.9	1048.8	1048.7	1049.0	1048.9	1048.7	1048.4	1049.5
5	1049.5	1049.9	1049.6	1050.5	1049.8	1049.2	1050.1	1049.6	1049.2	1049.8
6	1052.1	1052.2	1052.2	1052.6	1052.7	1051.8	1052.5	1052.3	1052.1	1052.6
7	1051.6	1050.7	1050.8	1050.7	1050.6	1050.4	1050.9	1051.2	1050.9	1051.6
8	1051.8	1051.6	1051.3	1051.6	1051.7	1051.5	1051.3	1051.6	1051.7	1051.3
9	1050.7	1051.2	1051.8	1050.9	1051.2	1050.8	1051.5	1051.2	1051.6	1051.1
T_{max}	1052.1	1052.2	1052.2	1052.6	1051.6	1051.8	1052.5	1052.3	1052.1	1052.6
T_{min}	1047.3	1047.5	1047.6	1047.8	1048.1	1047.5	1047.9	1047.5	1047.7	1047.9
ΔT	4.8	4.7	4.6	4.8	4.6	4.3	4.6	4.8	4.4	4.7
ΔT_{max}	4.8									

6）表面温升的试验。在空载和满载条件下对 VKNQ669 进行表面温升的试验。采用红外测温枪对炉体表面部位进行检测，测试结果如表 3.8-7 所示，试验结果表明其结果符合设计要求。

表 3.8-7　表面温升的试验结果

状态	温升要求/℃	室温温度/℃	炉门温度/℃	左侧温度/℃			右侧温度/℃			ΔT_{max}/℃	判定
				前	中	后	前	中	后		
空载	$\Delta T \leqslant 20$	18.0	30.2	30.4	31.3	32.2	30.5	31.6	32.3	14.2	合格
满载		20.0	34.3	34.5	35.4	37.2	33.8	35.6	37.6	17.6	合格

7）淬火充气时间的试验。在满载条件下对 VKNQ669 进行淬火充气时间的试验。经测定，气淬时，从开始充气到风机起动达到规定转速和气压达到规定压力的时间是 15s，结果符合设计要求。

（2）真空高压气淬炉主要热处理工艺的试验（实验炉型为 VKNQ669）

1）热处理变形量试验。热处理过程中的变形是不可避免的，但高性能的热处理设备可以将变形量减小到最低限度。两种主要的热处理变形是热变形和组织转化变形（淬火变形）。采用真空高压气淬炉可最大限度地发挥工艺控制变形量的能力，其最大的优点是可控升温和可控淬火。

①高的气冷均匀性。由于在设计上采用了定时换向冷却的特殊气冷方式，故该炉型具有非常好的冷却均匀性。图 3.8-1 所示为某一工件采用不同冷却方式后温度变化过程。

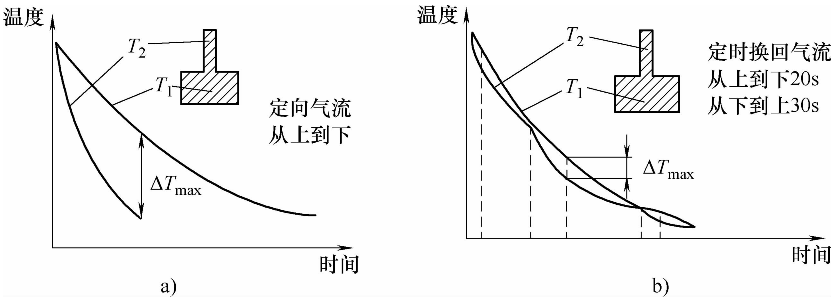


图 3.8-1　某一工件采用不同冷却方式后温度变化过程

a）单向冷却　b）周期不同的定时换向冷却

②可实现等温淬火。等温淬火是一种特殊的淬火冷却方式，即淬火时先将模具冷却到马氏体转化温度（*Ms*）以上的某个温度段，均温后再冷却到 *Ms* 点以下。等温淬火可以有效降低淬火过程中的热应力和组织应力，从而为减小大模具的热处理变形提供了一种非常好的工艺方式。图 3.8-2 所示为某一工件采用 VKNQ 真空高压气淬炉等温淬火过程中的温度变化。

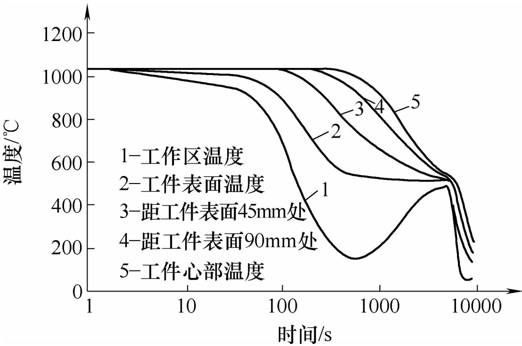


图 3.8-2　某一工件采用 VKNQ 真空高压气淬炉等温淬火过程中的温度变化

注：工件质量为 360kg，尺寸为 ϕ360mm，高度为 400mm。淬火温度为 1030℃，淬火设定：0.55MPa 氮气，等温淬火温度为 500℃。

2）硬度均匀性试验。VKNQ 真空高压气淬炉具有很好的加热均匀性和冷却均匀性，这两个特点保证了热处理后的工件表面具有很好的硬度均匀性。图 3.8-3 所示为采用 VKNQ669 淬火处理工件的表面硬度。

3）对流加热试验。由于真空加热时，低温阶段加热的热效率很低，为了节省工件处理时间，降低模具处理成本，真空高压气淬炉可以采用低温下对流加热技术来提高生产率。低温对流加热一般在 800℃ 以下，抽真空后充入 0.2MPa 的氮气，并用搅拌风扇一提高温度均匀性。如图 3.8-4 所示，采用真空辐射加热及对流加热所需的加热时间对比，在 540kg 的装炉量情况下，采用对流加热可比仅采用真空加热节省 2h。

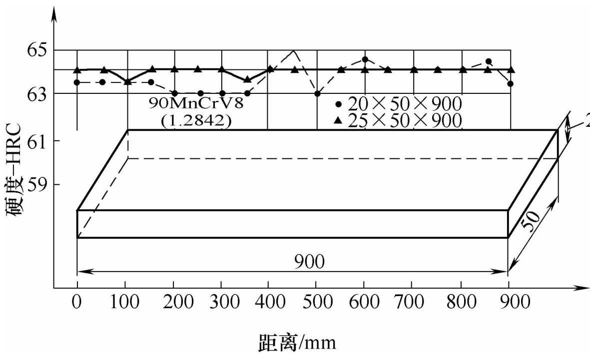


图 3.8-3　采用 VKNQ669 淬火处理工件的表面硬度

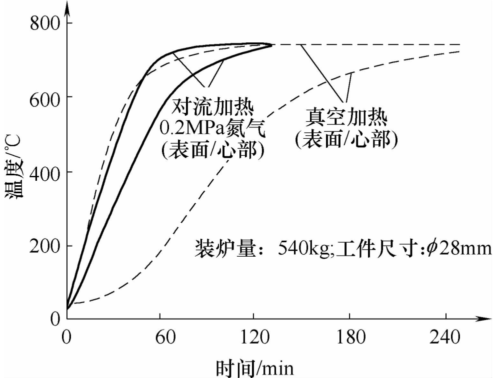


图 3.8-4　真空及对流加热从室温到 750℃所需时间比较图

5. 涉及知识产权的说明

《真空高压气淬炉热处理技术要求》是由江苏丰东热技术股份有限公司联合北京机电研究所等单位自主制定的标准，在标准的编制上不涉及知识产权问题，在技术内容上不涉及专利问题。

6. 采用国际标准和国外先进标准情况

真空高压气淬炉热处理目前在国际上尚无通用标准，主要执行各制造商的企业标准，而各企业标准的内容及技术要求均存在较多不一致。

该标准是在总结执行 JB/T 8195.3《间接电阻炉 ZR 系列真空热处理和钎焊炉》、JB/T 8195.4《间接电阻炉 ZC 系列真空淬火炉》经验基础上制定的，并部分吸收相关国家标准及行业标准，如 GB/T 10066.1—2004《电热设备的试验方法　通用部分》、GB/T 10066.4—2004《电热设备的试验方法　间接电阻炉》、GB/T 10067.1—2005《电热设备基本技术条件　通用部分》、GB/T 10067.4—2005《电热设备基本技术条件　间接电阻炉》、GB/T 22561—2008《真空热处理》等。这些标准主要

对电热设备的基本技术条件（包括电热设备的设计要求、制造要求、性能要求、成套要求和试验方法）、电热设备的试验方法（包括冷态试验和热态试验的具体项目、每个项目的试验方法和合格标准）、电热设备的控制要求（包括机械的电子、电气和可编程序电子设备及系统）等做了详细的规定。但目前我国的这些标准还缺乏对真空高压气淬炉的特有功能系统的规定，所以急需一个针对真空高压气淬炉且具有高技术水平技术规范，来要求和指导真空高压气淬炉的设计、制造和使用。

7. 预期达到的社会效益

随着科学可持续发展观成为基本国策，环保和节能已成为装备制造业发展的主要目标之一。中国热处理行业“十二五”规划和2020年发展纲要中，把“真空热处理”列为先进技术成果转移和推广重点内容的第一项工作。目前，真空高压气淬已可达到油淬甚至水淬的效果，其最大优点是避免了油淬或盐浴生产中的油烟甚至有毒物质的污染，同时也可避免碱液清洗工序和含油废液的排放。处理后的零件表面清洁度高，无须后续清洗和清理抛丸工序，无 SO_2、CO 的排放问题，是清洁热处理的主要工艺之一，符合国家“节能减排”的要求。因此，真空高压气淬炉将逐渐取代传统的盐浴和油淬热处理，成为高合金钢和模具钢最主要的热处理工艺。

我国在该领域起步较晚，过去对各类工模具及航空航天等零部件主要采用盐浴和真空油淬炉处理，改革开放后陆续从欧美国家引进一批真空高压气淬炉用于精密模具及零部件的热处理。自20世纪80年代起，我国相关科研院所和厂家才开始投入大量的人力、物力着手开发研制真空气淬炉，到2000年后，大多可生产最高气淬压力为0.5MPa的真空气淬炉，但质量可靠性不高，到2005年后有几家外商独资和合资企业通过引进国外先进成熟技术公司，在我国开始生产最高气淬压力为1.0MPa真空气淬炉陆续投放市场，到2010年后又相继向市场推出1.2～1.5MPa的高压气淬炉。近年来，随着我国汽车、家电、航空等工模具及精密零部件需求的快速增长，给热处理市场带来较多需求，越来越多的各类性质企业加入到真空高压气淬炉的生产，但由于设计、制造及质量控制水平的差异，产品质量和可靠性参差不齐，主要零部件如大功率电动机、热交换器、真空泵、真空阀及密封件等国产件质量不稳定，使用寿命短，不能满足市场需求，同时由于大量企业采用模仿设计，知其然不知其所以然，也形成诸多安全事故和安全隐患。因此，制定一部能够指导行业设备设计、制造和质量控制要求的热处理技术标准显得十分迫切。

JB/T 11810—2014《真空高压气淬炉热处理技术要求》的制定对我国真空高压气淬炉的设计和制造提出了高质量的规范要求。该标准的制定一方面能为我国真空高压气淬炉从设计开发、试验方法、可靠性要求、安全卫生等方面提供可依据的技术标准，使设计参数和主要功能得到系列化和统一化，促进我国真空高压气淬炉设计制造的水平的提高和可持续发展；另一方面能够提高利用真空高压气淬炉进行热处理的产品的质量，大批量的推广使用对节能减排、提高生产率、降低生产成本和推动国内制造业结构升级都将起到积极的作用。（江苏丰东热技术股份有限公司向建华供稿）

三、标准内容（JB/T 11810—2014）

真空高压气淬炉热处理技术要求

1　范围

本标准规定了真空高压气淬热处理设备及工艺材料、工艺及工艺过程、质量控制及检验、安全、卫生和环保等技术要求。

本标准适用于合金钢、高温合金等金属材料的真空高压气淬热处理。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本

文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 150.1 压力容器 第1部分：通用要求

GB 150.2 压力容器 第2部分：材料

GB 3095 环境空气质量标准

GB/T 3163 真空技术 术语

GB/T 4844 纯氦、高纯氦和超纯氦

GB 4962 氢气使用安全技术规程

GB 5959.1 电热装置的安全 第1部分：通用要求

GB 5959.4 电热装置的安全 第4部分：对电阻加热装置的特殊要求

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1 电热设备的试验方法 第1部分：通用部分

GB/T 10066.4 电热设备的试验方法 第4部分：间接电阻炉

GB/T 10067.1 电热装置基本技术条件 第1部分：通用部分

GB/T 10067.4—2005 电热装置基本技术条件 第4部分：间接电阻炉

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 13324 热处理设备术语

GB/T 15318 热处理电炉节能监测

GB 15735 金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 17358 热处理生产电耗计算和测定方法

GB/Z 18718 热处理节能技术导则

GB/T 22561—2008 真空热处理

JB/T 6050 钢铁热处理零件硬度检验通则

JB/T 7530 热处理用氩气、氮气、氢气一般技术条件

JB 8434 热处理环境保护技术要求

JB/T 10175 热处理质量控制要求

3 术语和定义

GB/T 3163、GB/T 7232、GB/T 10066.4—2004、GB/T 13324 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 真空高压气淬炉 vacuum high-pressure gas quenching furnace

真空加热后往炉内充入非氧化性气体，使炉料在压力大于 6×10^5Pa 的介质中冷却淬火的真空炉。

3.2 淬火充气时间 quenching and gas-filled time

气淬时，从开始充气到风机达到规定转速和气压达到规定值所需的时间。

4 设备及工艺材料要求

4.1 一般要求

真空高压气淬炉应符合 GB/T 22561—2008、GB/T 10067.1、GB/T 10067.4—2005 的规定。

4.2 设备分类

真空高压气淬炉按结构形式可分为卧式和立式。

真空高压气淬炉按功能空间可分为单室、双室或多室。

4.3　结构要求

真空高压气淬炉主要由炉体、加热保温系统、气淬系统、真空系统、充排气系统、水冷系统、控制系统和辅助设备等组成。

4.3.1　炉体

4.3.1.1　炉体由炉壳和炉门组成。

4.3.1.2　炉体采用碳钢或不锈钢焊接而成，可以是整体结构，也可由多节组合而成。炉壳、炉门都应采用双层水冷结构，其设计、制造、检验和安装应符合 GB 150.1 和 GB 150.2 的规定。炉体制造商应取得相应承压设备的设计和制造资质。

4.3.1.3　炉体上应设有电极引入、热电偶引入、安全阀、冷却管道、充气系统等装置。

4.3.1.4　炉门可以采用边铰链、顶铰链、垂直提升或悬挂在轨道上滑动等形式。炉门及相应运动部件应有足够的强度，以满足长期稳定运行的需要。

4.3.1.5　炉壳焊接加工后，必须经过去应力处理，并进行探伤水压、气压及检漏仪的检测，保证焊接质量和炉壳的气密性。

4.3.1.6　炉门及炉体上所有接入口都应采用密封圈密封，以保证设备在真空负压、正压气淬时的双向密封。

4.3.2　加热保温系统

4.3.2.1　电流导入装置

电流导入装置应采用水冷结构，并配备冷却水流量安全监控装置。

4.3.2.2　加热元件

加热元件的具体要求：

——加热元件材料根据炉的使用要求选用，可选材料包括非金属的石墨材料（棒、管、带等）、难熔金属材料（钨、钼、钽等）的带、棒、丝等。加热元件的布置和功率的分布要保证炉温的均匀性和加热工艺的要求。

——电热元件的端电压应小于 100V，防止在炉内局部产生真空放电，损伤设备及部件。

——加热元件应更换方便，便于维护和修理。

4.3.2.3　隔热层

隔热层的具体要求：

——隔热层一般采用机械框架结构，由石墨硬毡、碳纤维材料、陶瓷等耐高温构件或难熔金属及不锈钢薄板组成；

——隔热层在使用过程中应不变形、不开裂、不剥离；隔热层设计中应考虑热胀冷缩引起的变形，以及在兼作冷却室时要承受的高压气流的冲刷，满足长期使用的要求；

——隔热层的构件应更换方便，便于维护和修理。

4.3.2.4　炉床

炉床应采用性能与真空高压气淬炉工作条件相适应的材料制造（如石墨、碳纤维材料、钼等难熔金属）。在真空高压气淬炉的整个工作温度范围内，炉床应能承受最大装载量而不损坏或无明显变形。当料盘使用镍铬合金时，在料盘与石墨炉床之间应设置钼条等，以防料盘与炉床粘连。

4.3.2.5　对流加热装置

为提高设备低温段的加热效率和温度均匀性，可配置对流加热装置，搅拌风扇一般采用高强度复合碳纤维材料制造。

4.3.3　气淬系统

4.3.3.1　气淬系统由冷却电机、热交换器、导流装置以及控制系统等组成。根据气流循环结构方

式的不同，可分为内循环式和外循环式两种。

4.3.3.2 冷却风机由大功率电动机和气体循环风扇组成，为防止电动机绕组过热应配有电热保护装置。大功率电动机起动时不得对电网形成冲击，必要时应采用软启动等方式解决。

4.3.3.3 热交换器一般采用水冷方式单独供水，冷却水进口温度应不高于35℃。冷却水压力应不小于0.2MPa，并应配有流量、压力报警保护装置。

4.3.3.4 导流装置及控制系统的设计、制造应能满足高压气淬工艺要求。根据炉型结构，可采用360°圆周均布喷嘴或采用导流栅板配合换向翻板的方式，实施气流换向冷却。通过对淬火气体压力和换向冷却周期的控制来满足淬火工艺的要求。为减小工件变形、预防开裂，可配置等温淬火控制系统。

4.3.3.5 气淬用气包括氮气、氩气、氦气、氢气等气体，当使用氦气、氩气等稀有气体作为气淬用气时，建议配置相应的气体回收再利用装置。所用气体应符合 JB/T 7530 的规定，氦气的使用应符合 GB/T 4844 的规定，氢气的使用应符合 GB 4962 的规定。

4.3.4 真空系统

真空系统由真空泵组、管道、阀门、真空计、真空传感器等组成。真空泵组应根据设备要求的极限真空度、抽气速率等来选配。系统中应设置自动阀门，以便在发生意外停电时能自动关闭，以防空气和真空泵油进入炉内。系统应有安全联锁，当炉内真空度超出给定值时，切断加热电源。

4.3.5 充排气系统

主要由大直径充气阀、补气阀、排气阀、压力检测与控制装置及相应的管路等组成。充气压力应在气淬压力范围内任意可调，同时应具有超压电器连锁保护功能。

为防止部分合金元素在高温高真空环境下蒸发，系统中应设有分压气体输入系统。

4.3.6 水冷系统

主要对炉体、热交换器、水冷电极及真空系统中的真空泵组等进行冷却，应能使炉体各部分的表面温升不超过4.6.9的规定。总进水管路上应装有可自动报警的水温、水压检测装置。

4.4 控制系统

4.4.1 以智能化控温仪表、可编程序控制器、加热变压器、真空计及记录仪为核心构成包括供电、控制、记录、监视、报警保护功能在内的控制系统。可以通过自动或手动方式实现全部工艺过程。

4.4.2 真空高压气淬炉控制系统应配置气淬压强指示和控制仪表，应配置电压、电流、加热区温度、冷却水温度测量指示仪表。

4.4.3 真空高压气淬炉各加热区段都必须配置独立的温度控制系统，各区段的加热功率配置应满足所设计额定载荷加热、保温的需要，且应保证温度均匀性符合要求。

4.4.4 真空高压气淬炉加热室的每个加热区至少应有两支热电偶，一支接温度自动控制仪表，另一支接温度指示自动记录仪表。其中每个加热区至少有一块仪表具有超温报警功能。

4.4.5 真空高压气淬炉控温仪表精度应不低于0.2级，记录仪表精度应不低于0.5级，有效加热区内温度均匀性偏差应不大于±5℃，炉温均匀性应按 GB/T 9452 的规定定期测量，炉子应配备炉温均匀性测定用安装孔。

4.4.6 真空高压气淬炉温度测量系统在正常使用状态下，应定期做系统精度校验，系统精度校验允许温度偏差不大于±1℃，炉子应配有系统精度校验热电偶安装孔。

4.4.7 真空高压气淬炉的其他技术要求应符合 JB/T 10175 的要求。

4.4.8 真空高压气淬炉应配置计算机监控系统，计算机监控系统应具备半自动控制系统或全自动控制系统，可对生产和工艺全过程进行监控和记录。

4.5 炉外送料车

送料由液压升降驱动的叉式小车完成。对于装炉量超过600kg的炉型，其配备的料车应具备电动辅助送取料功能。

4.6 基本技术指标

4.6.1 最高温度

真空高压气淬炉的最高温度一般为1350℃。

4.6.2 工作温度

真空高压气淬炉的工作温度一般在550～1300℃之间。

4.6.3 炉温均匀性

真空高压气淬炉的炉温均匀性通常应不大于±5℃，当炉体有效工作区较大，要求较高时，可由供需双方协商确定。

4.6.4 极限真空度

真空高压气淬炉的极限真空度可分为常规极限真空度和高极限真空度，其中常规极限真空度应不大于5×10^{-1}Pa，高极限真空度应不大于5×10^{-3}Pa。

4.6.5 工作真空度

真空高压气淬炉的工作真空度可分为常规工作真空度和高工作真空度，其中常规工作真空度应不大于5Pa，高工作真空度应不大于5×10^{-2}Pa。

4.6.6 压升率

对工作区容积不大于1m^3的真空高压气淬炉，压升率应不大于0.65Pa/h；当工作区容积介于1～5m^3之间时，压升率应不大于0.5Pa/h；工作容积大于等于5m^3时，压升率应不大于0.3Pa/h。

4.6.7 空炉抽真空时间

空炉抽真空时间见表1。

表1 空炉抽真空时间

真空炉工作容积/m^3	工作真空度/Pa	抽到工作真空度时间/min
≤1.0	≤5.0	≤20
1.0～5.0	≤5.0	≤40
≥5.0	≤5.0	≤60

4.6.8 空炉升温时间

真空高压气淬炉在空炉状态下从环境温度升到1050℃时的升温时间应不大于60min。

4.6.9 表面温升

真空高压气淬炉炉体各部分的表面温升应不大于20℃。

4.6.10 淬火充气时间

真空高压气淬时，淬火充气时间应不大于25s。

4.7 试验方法

真空高压气淬炉的试验应按GB/T 10066.1、GB/T 10066.4、GB/T 9452和以下补充条文的规定进行。

4.7.1 试验条件

在空炉情况下以测定最高温度、温度均匀性、空炉升温时间、表面温升、空炉抽空时间、极限真空度、压升率和淬火充气时间，试验应从环境温度开始。

4.7.2 最高温度的测量

升温到最高温度，保温 2h 后开始测量。

4.7.3　炉温均匀性的测量

炉温均匀性应在试验温度下的热稳定状态时进行测量。其方法应按 GB/T 9452 的规定进行。试验结果应满足 4.6.3 的要求。

4.7.4　空炉升温时间的测量

空炉条件下，炉内真空度达到工作真空度后，即可进行试验。试验电压的波动不应超过额定电压值的 ±10%。从炉子接通电源到炉温升至额定温度的时间即为空炉升温时间。如炉子使用多支热电偶，以最后一支热电偶升至额定温度的时间为准。

4.7.5　表面温升的测量

按 GB/T 10066.4 中 6.17 所规定的方法测量，试验结果均应满足本标准 4.6.9 的要求。

4.7.6　空炉抽空时间的测量

空炉条件下，从炉内起始气压为一个大气压（1×10^5Pa）时起动真空泵抽气，到炉内真空度达到 4.6.7 规定的工作真空度的时间，即为抽空时间。

4.7.7　极限真空度的测量

炉子首先经烘炉并充分除气后，在空炉冷态情况下，用真空炉本身配套的真空系统进行测量，正常情况下，依次起动各级真空泵，试验结果应满足 4.6.4 的要求。

4.7.8　压升率的测量

按 GB/T 10066.1 中 7.1.10.3 所规定的方法测量，试验结果均应满足本标准 4.6.6 的要求。

4.7.9　淬火充气时间的测量

使用秒表，计算从开始充气到风机达到规定转速和气压达到规定值的时间，试验结果均应满足 4.6.10 的要求。

4.8　可靠性要求

4.8.1　真空高压气淬炉故障分类

一类故障——在生产中发生必须停炉降温检修的故障。

二类故障——在生产中炉内发生可在不影响生产的情况下迅速修复的故障。

三类故障——在生产中发生属于电器元件质量、安装不牢固或运行不顺畅等只需稍作紧固或调整即可解决的故障。

注：对易耗品的正常损坏和更换不视为故障。

4.8.2　真空高压气淬炉可靠性指标

4.8.2.1　1 年内不得出现因设备设计制造不当造成的一类故障（不包括因操作维护不当或易损件提前失效等造成的停炉故障）。

4.8.2.2　六个月内不得出现因设备设计制造不当造成的二类故障（不包括因操作维护不当或易损件提前失效等造成的停炉故障）。

4.8.2.3　一个月内三类故障不得出现超过 3 次。

4.8.2.4　真空高压气淬炉炉体的寿命应不低于 5 年，隔热层的寿命应不低于 2 年，加热元件的寿命应不低于 2 年，真空泵的寿命应不低于 1 年。

4.9　设备的电耗与节能

真空高压气淬炉的电耗应符合 GB/T 15318 和 GB/T 17358 的规定。

真空高压气淬炉的节能应符合 GB/Z 18718 中节能措施的规定。

5　工艺及工艺过程要求

5.1　工艺参数

5.1.1　加热温度与真空度

根据工件的材料及工艺要求来确定并控制加热温度和加热时的真空度。常用材料的参数见附录 A。

5.1.2　保温时间

真空淬火加热保温时间应包括加热滞后时间及组织均匀化时间。

工件真空加热保温时间应考虑工件真空加热时的滞后效应，加热滞后时间的测定应符合 GB/T 22561—2008 中附录 D 的规定。

5.1.3　淬火压力

真空高压气淬压力一般不小于 0.6MPa，具体数值因工件材料、形状、装炉方式等的不同而有所差异。部分参数见附录 B。

5.2　工艺过程要求

5.2.1　工件及工装

入炉工件及工装应进行清洗并烘干，不应有锈斑，不应有对工件、炉膛产生有害影响的污物、低熔点涂层、镀层等。

5.2.2　装炉

轴类产品一般应垂直放置，同时固定稳定；较小较轻的产品应采用网袋包裹，防止高压气淬时飞溅；平放产品应上、下层中心错开放置。

5.2.3　升温

工件入炉达到规定的真空度后开始加热升温。根据工件形状、装炉方式以及对变形的要求选择不同的加热速率，必要时可进行预热。

5.2.4　淬火

气淬过程可以通过选择不同的冷却气压和设定合理的气流方向、换向周期来调节淬火冷却速率。

5.3　工件出炉

工件出炉温度应低于 100℃。

6　质量控制与检验

6.1　质量控制

6.1.1　热处理质量控制应符合 JB/T 10175 和本标准的规定。

6.1.2　处理前工件的表面应无油污、伤痕及锈蚀，其原材料及金相组织应符合要求。

6.1.3　真空高压气淬炉的各工艺参数应稳定在工艺规定的范围内，定期对温度仪表、热电偶、真空计等进行检查并定期校验，以保证其工作准确性。

6.1.4　淬火气源质量应稳定，符合相应的标准或技术规范要求。

6.2　质量检验

6.2.1　外观

工件表面应光亮、无裂纹等缺陷。一般采用目视检查，必要时可采用放大镜或体视显微镜等确认。

6.2.2　硬度

表面硬度和心部硬度应符合图样技术要求，检测方法应符合 JB/T 6050 的规定。

6.2.3　金相组织

金相组织检验应包括马氏体级别、残留奥氏体级别等，检验方法应符合 GB/T 13298 的规定。

6.2.4　畸变

热处理后畸变应符合产品过程控制中对畸变量的要求，工件畸变量使用相应的测量仪器或量具

进行检验。

6.2.5　力学性能

依据产品要求进行力学性能的检测。检测方法符合相关标准的规定。

7　安全、卫生和环保要求

7.1　真空高压气淬过程中安全、卫生应符合 GB 5959.1、GB 5959.4、GB 15735 和 JB 8434 的规定。

7.2　真空高压气淬炉操作人员应接受设备生产厂家或拥有相关资质的机构进行设备操作及安全培训后持证上岗。

7.3　生产场所的噪声控制应符合 GB 12348 的规定，作业场所的噪声不得超过 85dB。

7.4　在常压不通冷却水条件下，加热元件对地绝缘电阻应不低于 5MΩ。

7.5　设备停炉或长期放置时，所有真空室必须抽真空，防止炉内材料长期接触空气造成设备真空度等性能指标的下降。

7.6　在结冰天气或长时间停炉时，应注意排放管路中的残水，以防止冻坏部件及管道。

7.7　真空高压气淬过程中气体的排放应符合 GB 3095 的要求。

7.8　高压储气罐及管路按特种设备要求，应由所在地质量技术监督局定期检定。

7.9　高压储罐与增压系统的安装、管路连接、验收必须由相应资质的部门人员完成并严格执行安检程序。

7.10　所有电加热系统和可能伤及操作人员的运动部件均应设置可靠的防护罩和明显的警示牌。

7.11　设备发生故障或工艺参数偏离时，应发出声光报警信号。可采用故障自诊断系统和远程监控系统，及时排除故障和修正工艺参数。

7.12　生产过程中突发停电、停水、停气等突发状况时，设备本身和现场应有相应的安全应急措施，以保证人员、设备和工件的安全。

附　录　A

（资料性附录）

常用钢材真空高压气淬的参考数据

常用钢材真空高压气淬的参考数据见表 A.1。

表 A.1　常用钢材的真空热处理温度、真空度和冷却介质

钢号	预热			淬火			回火		
	一次预热温度/℃	二次预热温度/℃	真空度/Pa	加热温度/℃	真空度/Pa	冷却介质	加热温度/℃	真空度/Pa	冷却介质
W6Mo5Cr4V2	600~650	850~900	$1\sim10^{-1}$	1200~1220	50~100（N_2 分压）	惰性气体	540~580	$(1.2\sim2.0)\times10^5$	惰性气体
W6Mo5Cr4V2Al	600~650	850~900	$1\sim10^{-1}$	1200~1220			540~560		
W12Cr4V4Mo	600~650	850~900	$1\sim10^{-1}$	1220~1240			540~580		
W2Mo9Cr4V2Co8	600~650	850~900	$1\sim10^{-1}$	1180~1200			540~580		
Cr12MoV	500~550	800~850	$1\sim10^{-1}$	1000~1050	$1\sim10^{-1}$	油或惰性气体	170~250	空气炉	空气
Cr12	500~550	800~850	$1\sim10^{-1}$	950~980			180~200		
3Cr2W8V	480~520	800~850	$1\sim10^{-1}$	1050~1100			560~580	$(1.2\sim2.0)\times10^5$	惰性气体
							600~640		
4Cr5MoSiV（H11）	600~650	800~850	$1\sim10^{-1}$	1000~1030	50~100（N_2 分压）		530~560		
4Cr5MoSiV1（H13）	600~650	800~850	$1\sim10^{-1}$	1020~1030			540~560		

（续）

钢号	预　热			淬　火			回　火		
	一次预热温度/℃	二次预热温度/℃	真空度/Pa	加热温度/℃	真空度/Pa	冷却介质	加热温度/℃	真空度/Pa	冷却介质
40Cr13	800～850	—	$1\sim10^{-1}$	1050～1100	1	油或惰性气体	200～300	空气炉	空气
95Cr18	800～850	—	$1\sim10^{-1}$	1010～1050	$1\sim10^{-1}$		200～300		
05Cr17Ni4Cu4Nb	800～850	—	$1\sim10^{-1}$	1030～1050	1		480～630	$(1.2\sim2.0)\times10^{5}$	惰性气体

注：高速钢和高合金模具钢用于冷作模具时，淬火加热温度也可低于淬火加热的下限温度。

附　录　B
（资料性附录）
常用材料真空高压气淬淬硬能力参考数据

常用钢材真空高压气淬淬硬能力参考数据见表 B.1。

表 B.1　常用钢材真空高压气淬的淬硬能力参考数据

GB（中）	DIN（德）	AISI（美）	AFNOR（法）	相应压力下淬火尺寸/mm			硬度 HRC
				0.6MPa	1.0MPa	2.0MPa	
—	50NiCr13	—	—	80	100	120	59
—	X45NiCrMo4	—	—	160	180	200	56
MnCrWV	100MnCrW4	01	90MWCV5	40	80	120	64
5CrW2Si	60WCrV7	S1	55WC20	60	80	100	60
9Mn2V	90MnCrV51	O2	90MV8	40	80	120	63
Cr5Mo1V	X100CrMoV51	A2	Z100CDV5	160	200	200	63
Cr12	X210Cr12	D3	Z200C12	60	100	160	64
—	X210CrW12	D6	Z200CW12	160	200	200	65
Cr12MoV	X155CrVMo121	D2	Z160CDV12	160	200	200	63
5CrNiMo	55NiCrMoV6	L6	55NCDV7	100	160	200	56
5CrNiMoV	56NiCrMoV7	L6	55NCDV7	120	200	200	57
4Cr5MoSiV	X38CrMoV51	H11	Z38CDV5	160	200	200	54
4Cr5MoSiV1	X40CrMoV51	H13	Z40CDV5	160	200	200	54
—	X32CrMoV33	H10	32DCV28	100	140	160	50
—	X32CrMoV333	H10A	30DCKV28	160	200	200	52
40Cr13	X42Cr13	420	Z40C14	—	100	120	56
—	X36CrMo17	—	—	—	140	160	50
W6Mo5Cr4V2	S6-5-2	M2	Z85WDCV 06-05-04-02	100	160	200	66
W2Mo9Cr4VCo8	S2-10-1-8	M42	Z110DKCWV 09-08-04-02-01	120	180	200	66
—	S10-4-3-10	—	Z130WKCDV 10-10-04-04-03	140	200	200	67
GCr15	100Cr6	E52100	100C6	—	10	20	63
35Cr2Ni2MoA	34CrNiMo6	—	35NCD6	20	40	60	54
—	100CrMo73	—	—	5	10	25	64

第九节　真空低压渗碳炉热处理技术要求

一、概论

经济的高速发展，技术的快速更新，要求各类工程机械零件精度更高、性能好、使用寿命更长、生产率更高，同时生产过程要更环保。渗碳是零件表面改性的一种热处理手段，是关键的基础加工制造工艺。渗碳热处理可以有效提高钢铁零件疲劳强度、耐磨性，广泛应用于航空航天、船舶、电力、汽车、机械制造、工具等各个行业。渗碳作为工程零件热处理的一项关键技术，其质量不仅影响零件性能和使用寿命，而且直接影响到整机的精度、可靠性和使用寿命。

目前我国渗碳热处理主要以气体渗碳为主，但气体渗碳无法高质量地满足提高产品性能及清洁生产的要求。具体体现在：

（1）气体渗碳采用含氧渗碳介质。由于渗碳介质中存在氧的成分，因此在渗碳过程中不可避免地会在零件表层形成晶界氧化和淬火非马氏体组织，降低零件的耐磨性能和抗疲劳性能，同时也影响渗层均匀性，降低零件的使用寿命。

（2）气体渗碳设备热损失大、能耗高。普通气体渗碳设备密封性能差，制备气氛来排除炉内空气，并使炉气维持一定碳势，还需保持一定炉压，以避免外部空气侵入。恢复炉气碳势也需较长时间，使原料气和制备气氛的能源消耗很大。

（3）气体渗碳温室气体排放量大。气体渗碳的基本原理是：

1）$2CH_4+O_2+4N_2 \rightarrow 2CO+4H_2+4N_2$（天然气制备气氛）。

2）$2C_3H_8+3O_2+12N_2 \rightarrow 6CO+8H_2+12N_2$（丙烷制备气氛）。

3）$C_4H_{10}+2O_2+8N_2 \rightarrow 4CO+5H_2+8N_2$（丁烷制备气氛）。

4）$CH_3OH \rightarrow CO+2H_2$（甲醇裂解气氛）。

5）$2CO \rightarrow C+CO_2$（渗碳反应和排出气氛点燃反应）。

从以上五式可以看出，气体渗碳最终反应生成 CO_2，温室气体排入大气，是导致地球温度升高的隐患之一。真空低压渗碳是一项环境友好型新技术，为促进该技术在我国的应用，制定了本标准。目前国际上尚无该类标准，因此标准的制定没有采用国际标准。

本标准的制定过程中，部分参考了国外企业真空低压渗碳淬火设备的相关企业标准，并结合我国现状和未来技术发展方向，制定符合我国国情的真空低压渗碳热处理技术要求。本标准在主要内容上与国外企业的企业标准基本一致。主要区别在于：

1）针对国产真空泵在性能和可靠性等方面实际使用情况，将真空低压渗碳炉极限真空度提为 5×10^{-1}Pa，工作真空度提为 5Pa。而国外一般规定，极限真空度为 1Pa，工作真空度未做要求。

2）结合我国实际应用情况，将高压气淬压力设定在 $5\times10^5\sim2\times10^6$Pa，而国外企业标准一般规定高压气淬压力为 2×10^6Pa（压力可调）。

3）真空低压渗碳炉性能验收主要借鉴我国现行标准。

二、标准应用说明

1. 编制原则

本标准的制定遵循“面向市场、服务行业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则。

1）本标准的主要技术内容参考了欧美设备制造商的企业标准，结合我国现状和未来技术发展

方向，制定符合我国国情的真空低压渗碳热处理技术要求。

2）本标准的制定重点突出了真空低压渗碳热处理设备、工艺、安全等方面的规范。

3）本标准的制定遵循国家法规，未与国家现行的有关标准和原则相矛盾。

4）本标准的内容和格式符合 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则　第 1 部分：标准的结构和编写规则》编写要求。

2. 主要内容

本标准规定了真空低压渗碳淬火热处理设备、工艺过程、质量控制和检验、安全卫生和环保等技术要求。

本标准适用于钢件采用丙烷、乙炔等羟类气体作为渗碳介质进行真空低压渗碳淬火的热处理工艺。

本标准主要内容包括：真空低压渗碳淬火炉分类、要求、基本技术指标，工艺和工艺过程要求，质量控制与检测，安全卫生和环保要求等内容。

3. 解决的主要问题

北京机电研究所负责完成的国家科技重大专项“高温低压渗碳设备”课题（课题编号：2009ZX004008-021）研究成果是《真空低压渗碳淬火炉热处理技术要求》编制的基础，同时总结了我国真空低压渗碳淬火炉的生产经验。标准中所涉及的检测方法及所有数据均按照 GB/T 10066.1《电热装置的试验方法　第 1 部分：通用部分》、GB/T 10066.4《电热设备的试验方法　第 4 部分：间接电阻炉》、JB/T 8195.3《间接电阻炉 ZR 系列真空热处理和钎焊炉》、JB/T 8195.4《间接电阻炉 ZC 系列真空淬火炉》的相关试验条款进行并取得的，具有先进性、实用性和可操作性。

本标准属产业结构调整与优化升级、战略型新兴产业培育中节能、环保型技术标准，填补了我国热处理企业用真空低压渗碳炉技术要求标准方面的空白。本标准在参考国外设备制造商的企业标准和国内生产实践的基础上，对真空低压渗碳技术的定义、对设备结构形式及组成、对低压渗碳炉主要技术参数和验收标准、对低压渗碳工艺过程和性能检测、对真空低压渗碳炉的安全生产等方面进行了规范。本标准的制定将有利于促进低压渗碳技术的发展，有利于低压渗碳技术和装备的推广应用，进而提高我国低压渗碳炉制造和应用水平，以促进我国热处理行业技术进步。

4. 真空低压渗碳热处理技术优势

低压渗碳是一项环境友好型新技术，在欧美发达国家正在推广应用。其节能、节材、环保等优点已经得到广泛认可，是热处理技术发展的主要方向之一。真空热处理具有无氧化、无脱碳和小畸变的优点，而且零件处理精度和使用寿命均有大幅度提升，因此，自 20 世纪 90 年代以来在我国航空航天、汽车、船舶、兵器、电子、模具等行业的应用越来越广泛。

低压渗碳技术的出现使得实现高温快速渗碳成为可能。高温低压渗碳技术采用乙炔气体为渗碳介质，并采用 150～3000Pa 较低的渗碳压力进行脉冲渗碳。高温低压渗碳具有环境友好、可实现高温渗碳、提高渗碳速度、避免内氧化层、渗层易控、对深孔、盲孔件内壁也可渗碳等优点。高温低压渗碳技术的先进性还表现在：

1）工作温度高：真空加热炉的正常工作温度一般可以达到 1300℃，因此可实现高温快速渗碳，大大提高渗碳速度，从而具备显著节能效果。

2）彻底解决了内氧化难题，提高渗碳件质量。

金属零件在渗碳过程中，氧原子扩散到基体内部，与某些易氧化的合金元素形成氧化物，使得金属表层组织中的合金元素（如 Mn、Cr 等）贫化，使得零件的淬透性、硬度、疲劳强度降低，导致零件早期失效。即使在发达国家，高水平的气体渗碳技术，其渗层也不可避免地会出现内氧化层，因此法国已把内氧化作为渗碳质量检验的一项内容。图 3.9-1a 所示为渗碳后金属表层组织中

出现的晶界氧化层。

真空渗碳可以说是从根本上杜绝了内氧化，确保了零件渗碳后金属表层性能的均匀一致，如图3.9-1b所示，能使渗碳零件的抗疲劳性能明显提高。高温低压渗碳渗层更均匀，可以获得更好的零件显微组织，如图3.9-2所示。

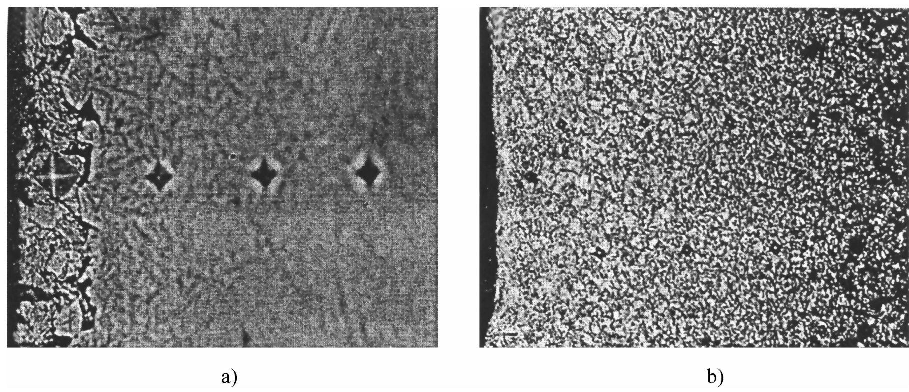


图3.9-1　气体渗碳和高温低压渗碳后工件表面内氧化情况对比

a）气体渗碳内氧化层　b）低压渗碳无内氧化层

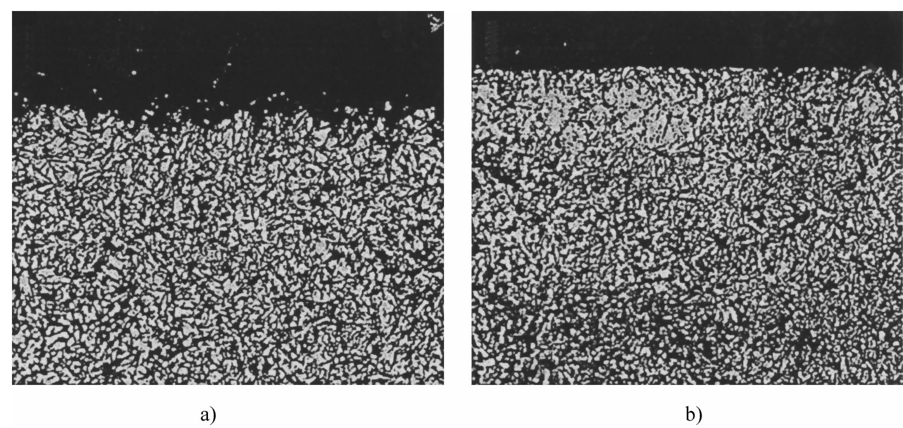


图3.9-2　气体渗碳与高温低压渗碳后的显微组织比较

a）气体渗碳（×500）　b）高温低压渗碳（×500）

另外，采用乙炔作为真空高温低压渗碳气具有很强的盲孔内表面渗碳能力，有效解决了其他渗碳方式不能解决的盲孔渗碳的问题。

乙炔的渗透能力非常强，在图3.9-3所示零件的ϕ3mm×90mm盲孔内可以得到均匀的渗层，盲孔内表面硬度分布曲线如图3.9-4所示。而乙烯和丙烷均在孔口起始很短的一段距离（27mm）内能渗上碳。

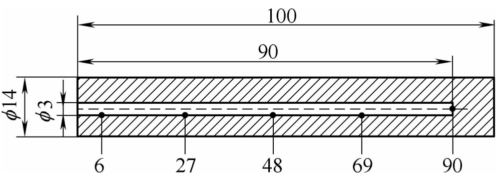


图3.9-3　盲孔渗碳零件示意图

3）控制简便，零件处理质量高，工艺再现性好。对于普通气体渗碳工艺，要进行高水平的渗碳需要复杂的碳势控制系统，专业性强，过程复杂，而高温低压渗碳的控制系统仅需控制渗碳气氛的压力和流量，控制简便，便于设备和技术的推广。该系统能对零件的渗碳过程进行精确控制，零件的渗碳质量更好，可以实现表面碳含量均匀性

≤±0.05%（质量分数）的精度；渗碳深度偏差≤±0.05mm 的高要求，被处理件质量重复性好，且可以实现真空油淬或高压气淬，工件畸变小，表面光亮。

4）高温低压渗碳设备起动快，处理周期短，渗碳气消耗极少。气体渗碳炉加热室中，工件均温后不能立即开始渗碳，需要靠氧探头、红外仪调节气氛的碳势，比较耗时，所以说起动慢。而高温低压渗碳设备只需要控制渗碳气氛的压力和流量，工件到温后可马上进行渗碳，且控制简便，起动时间大大缩短。另外，利用高温低压渗碳设备和工艺的特点，可有效清除阻碍渗碳的钝化膜，加之在真空条件下金属表面呈活性状态，渗碳速度比传统的气氛渗碳更快速。采用1000℃以上的高温低压渗碳，可以缩短渗碳时间近50%。

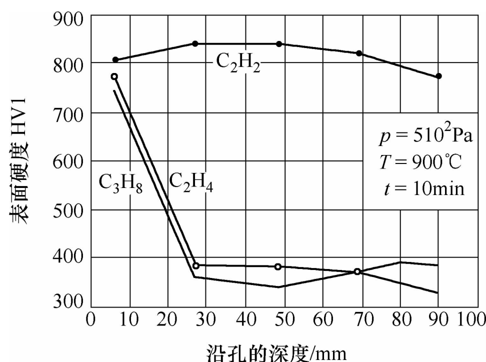


图 3.9-4　盲孔内表面硬度分布曲线

5. 低压渗碳淬火设备特点及要求

（1）设备的突出特点

1）选择的多样性。用户可根据不同的要求，对低压渗碳淬火热处理设备做出多种选择，包括：①根据设备配置处理室个数的要求，选择单室结构、双室结构、三室或多室连续式生产线；②根据淬火方式不同，可选择真空油淬或高压气淬。

2）设备的多用性。低压渗碳淬火热处理设备具有多种用途，能灵活实现多种热处理工艺，如真空渗碳、真空碳氮共渗、真空渗碳＋油淬、真空渗碳＋气淬，以及真空炉的全部功能（包括真空油淬、真空气淬、真空退火、真空正火、真空回火、真空钎焊等），并可以用于对工业领域所使用的各类材料和零件进行相关的热处理，如 12Cr2Ni4A、12CrNi3A 等高合金渗碳钢的渗碳及渗碳后的淬火，20CrMnTi 等结构钢的渗碳及渗碳后的淬火，12Cr13 等不锈钢的渗碳及渗碳后的淬火，H13、W6Mo5Cr4V2 等工模具钢的淬火，齿轮类零件、轴套类零件、精密轴承、油泵油嘴、精密机械零件等的淬火、退火等。

3）渗碳控制系统。低压渗碳淬火热处理设备中配备了先进的渗碳控制系统，该系统使用先进的电磁控制阀，启闭速度快。它可以依据材料的成分、渗层深度的要求和表面碳浓度的要求，实现渗碳工艺参数的编辑和修改，并对渗碳温度、强渗和扩散时间、渗碳气体流量和渗碳压力等渗碳参数进行精确控制。该渗碳控制系统能够实时监视设备的运行状态，显示设备当前的实时数据，如真空度、温度、流量、压力等，并能自动执行工艺曲线，并可以满足任何复杂热处理工艺所要求的手动和自动工作方式。PLC 能够实现这些工作方式的自动完成。

（2）真空低压渗碳淬火热处理设备一般要求

1）低压渗碳淬火炉满足热处理工艺规范，技术参数符合 GB/T 22561《真空热处理》、GB/T 10067.1《电热设备基本技术条件　第1部分：通用部分》、GB/T 10067.4《电热设备基本技术条件　第4部分：间接电阻炉》、JB/T 8195.3《间接电阻炉 ZR 系列真空热处理和钎焊炉》、JB/T 8195.4《间接电阻炉 ZC 系列真空淬火炉》等标准的有关规定。

2）低压渗碳淬火炉应能充分保证工作真空压强，配有机械泵、罗茨泵、扩散泵等组成的真空系统，真空系统应带有充分的抽气能力以维持相关热处理工艺要求的真空水平。

3）在空炉并经干燥、除气的情况下，不同工作容积的真空炉，应在规定的时间内抽到规定的真空工作压强。加热室冷态极限真空压强不低于1.33Pa，抽气时间应不大于30min。

4）低压渗碳淬火炉在冷态空炉并充分干燥后的压升率应小于1.33Pa/h。

5）低压渗碳淬火炉应保证炉温均匀性不大于±5℃，真空炉的炉温均匀度的检验方法应符合GB/T 9452 的规定。

（3）设备及仪表、工艺材料（渗碳气）、工艺质量与检验提出较高的要求

低压渗碳淬火热处理设备设计应符合 JB/T 10175《热处理质量控制要求》的规定。

1）首先低压渗碳淬火炉加热室内结构材料在热处理中不应与工件或渗碳气体发生不良反应，加热室内结构材料应选择质量好的碳毡、陶瓷纤维及优质石墨件。

2）低压渗碳淬火炉应配备温度自动调节、记录和报警装置。

3）低压渗碳淬火炉各加热区段都必须配置独立的温度控制系统，对于有效区较大的设备，可采取分多区加热，各区段的加热功率配置应满足所涉及额定载荷的加热、保温的需要，且应保证温度均匀性符合要求。

4）低压渗碳淬火炉加热室的每个加热区至少应有两支热电偶，一支接温度自动控制仪表，另一支接温度指示自动记录仪表，安装在炉子的有效加热区内。其中一块仪表具有超温报警功能。

5）低压渗碳淬火炉温度测量系统在正常使用状态下，应定期做系统精度校验。

6）炉子应配有系统精度校验热电偶安装孔，配置电压、电流、电能消耗、加热区温度、炉内压强、冷却水温度测量指示仪表，渗碳工艺气氛压强、流量测量指示和控制仪表，冷却水管压强、流量测量指示和控制仪表。

7）低压渗碳淬火炉采用低压脉冲的方式向炉内送入低压渗碳气。根据真空炉有效工作区尺寸，炉内渗碳气喷嘴应有一组或多组，并可根据装炉条件和渗层等工艺要求的不同，开启一组或多组。每组喷嘴配备有各自独立的送气系统，应能够通过质量流量计独立精确控制渗碳气送气的流量和压力，确保炉内气氛均匀。对于密集装炉条件，渗碳气喷嘴的设计应满足有效工作区心部渗碳气氛的有效供给，保证渗碳的均匀性。

8）为保证真空渗碳淬火炉内温度及气氛均匀，应在适当位置设置搅拌风扇。

9）真空泵组与真空炉体之间应配备炭黑、焦油过滤装置并定期清理，真空泵应定期换油、维护保养。

10）真空渗碳淬火炉应定期进行检查和维护，并做好记录。

（4）高压气淬室要求

1）高压气淬室设计、制造、检验、安装应符合 GB 150.1、GB 150.2、GB 150.3、GB 150.4 的规定，高压气淬室应配备压力传感器、自动放气阀、安全保护阀等装置。

2）高压气淬室应配备淬火冷却气氛充入压强自动控制和压强自动补偿功能。冷却搅拌风扇转速和搅拌时间应可以调节，以适用不同的工艺要求。

3）高压气淬室热交换器和导风装置设计、制造应能满足高压气淬工艺要求。

4）高压气淬室热交换器一般采用水冷方式，单独供水，冷却水进口温度为5~35℃（对于特殊要求的水温不大于27℃，应配有冷却水装置），出水口温升不应超过20℃（气淬时允许短时超过）。

5）快速冷却水压力不小于0.2MPa，流量可以调节，配有断水报警保护装置。

6）高压气淬室放气管路应配备消声器。

7）高压气淬室应具有压力调节功能，可以适应工件缓冷要求。

8）高压淬火用气优先选用高纯氮气（N_2），也可用氩气（Ar）、氢气（H_2）、氦气（He）、氢气及其不同比例的混合气，纯度应符合 JB/T 7530 要求。

（5）真空油淬室要求

1）真空油淬室内应设有送料机构和淬火升降机构。送料机构完成工件在加热室和冷却室之间

的转移，淬火升降机构完成工件的入油淬火。

2）送料机构和淬火机构应保证运行平稳，并保证工件的淬火转移时间（应符合 JB/T 8195.4 规定）。

3）淬火槽淬火瞬间充入氮气时，油面压强应能自动控制。淬火槽油面压强推荐 8×10^4Pa。

4）淬火油槽温度应能自动控制和调解，采用具有控温的功能仪表、热电偶、油加热器等对真空淬火油温度进行控制。

5）淬火油搅拌速度应具备调节和自动控制功能。

6）淬火油导流装置和油冷却换热器应满足工艺要求。

7）淬火油槽应安装油位指示计和油位安全报警装置。

8）淬火油应选用真空淬火油，满足工件真空淬火后的硬度及光亮度要求，符合 JB/T 6955 中的相关规定。

9）首次加油后要进行加热、抽真空除气。

10）为适应工件缓冷要求，真空油淬室应具有≤0.2MPa 气冷功能。

6. 低压渗碳淬火工艺及工艺过程要求

1）真空渗碳气体。目前用来真空渗碳的气体是乙炔（C_2H_2）和丙烷（C_3H_8），而不用甲烷，因甲烷在低压下裂解得很慢，渗碳效率低。在低压渗碳时，羟类气体的裂解是非平衡反应，意味着钢表面很快能达到奥氏体中碳的饱和水平。通过重复多个强渗和扩散步骤，能够获得希望得到的碳分布和渗层深度。低压渗碳工艺的控制是基于扩散理论的“奥氏体碳含量饱和值控制法”，即整个渗碳过程由数个子渗碳程序集合组成，每个子渗碳程序包括强渗期和扩散期两个阶段。确定子渗碳程序的个数和每个子渗碳程序中强渗期、扩散期的时间需要依据材料的成分、渗层深度的要求和表面碳浓度的要求，在建立准确的数学模型后，利用计算机计算出来。低压渗碳温度一般为 920～1050℃，工艺气氛进口压强一般设定为 0.2MPa，并能维持恒定。强渗过程中渗碳气的供给应采用脉冲方式通入，气体压力、流量应保持稳定。为了平衡炉内压强，扩散过程可通入适量氮气。

2）工件及工装。入炉工件及工装夹具应进行清洗，不应有锈斑，不应有对工件、炉膛产生有害影响的污物、低熔点涂层与镀层等。需要防渗碳部位可采用镀层或防渗螺母等办法。工装夹具的选择应防止与工件在工艺过程中发生共晶反应或粘合，若会发生反应，可采用 Al_2O_3 粉隔离。工件畸变要求比较高时，可设计和使用专门的工装夹具或模具。

3）加热及保温。工件入炉后达到规定的工作压强加热升温。控制升温速度，使工件各部分之间不产生明显的温差。根据工件形状、装炉方式，以及对变形的要求选择不同的加热速率，一般在 700～800℃保温，待工件温度一致，继续升温到工作温度并保温 20～30min 后开始渗碳。

4）渗碳和扩散。真空低压渗碳保温时间分为：渗碳时间、扩散时间。渗碳和扩散总时间可通过具体实验或软件获得。

5）淬火冷却。真空高压气淬时根据材料的淬透性通入 5×10^5～20×10^5Pa 的气体进行淬火。为了减少工件畸变，高压气淬过程可以在不同阶段通过选择不同的冷却速度和冷却时间来实现对工件的分阶段冷却淬火。真空淬火油在淬火前应充分脱气并排除水分，必要时适当加热，使油温控制在 20～50℃。为控制油面压强，淬火时应充入高纯氮气，并控制在压强为 8×10^4Pa 左右。淬火时，油槽应进行搅拌和循环冷却。按工艺规定应随炉冷却时，冷却过程应保持真空压强，当炉温降至一定温度后才可停止抽真空。

7. 预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

真空低压渗碳是一项环境友好型的新技术，在欧美等发达国家已经得到广泛的应用，其节能、节材、环保等特点已经得到广泛的认可，是热处理技术发展的主要方向之一。据目前我国需求，真

空低压渗碳淬火设备可广泛应用到航空、航天、汽车、船舶、铁路、机械、工具等行业，采用此项技术后，在提升零件的处理质量、提高装配精度、提高使用寿命、节能降噪等方面具有无可比拟的优势。该标准属于产业结构调整与优化升级，将有助于提升相关产业的技术发展水平，经济效益和社会效益显著。

（1）对汽车工业的作用。根据中国汽车工业协会统计，2010 年中国汽车生产量达到 1826.47 万辆，其中乘用车产量达到 1389.71 万辆，商用车产量达到 436.76 万辆。汽车工业已经成为中国经济的支柱产业。随着我国汽车行业的飞速发展，汽车制造环节的节能、节材、减排、降耗也越来越得到重视。清洁生产和提高寿命与安全性已经成为我国汽车工业健康发展必须面对和解决的重大问题。

渗碳热处理可以应用于汽车发动机、变速器、传动器、转向机、传动轴等部件中所有的传动和耐磨零件，如各种齿轮、轴类等的零件，是保证汽车性能和质量关键的热处理工序。据统计，我国每年仅各类汽车齿轮渗碳处理量就超过 200 万 t。

真空低压渗碳热处理成套技术应用于汽车工业的优势如下：

1）彻底解决普通气体渗碳形成晶界氧化层的难题，大幅度提高零件的耐磨性和疲劳强度。

2）提高渗层均匀性等质量。

3）可以提高渗碳温度，可以大幅度缩短厚层渗碳的工艺时间。

4）真空低压渗碳生产线可以满足大批量零件生产的需求，同时具有节能、节气、环保等优势。

目前，对汽车零件大批量渗碳淬火的低压渗碳高压气淬的高可靠性设备尚待研究中。

（2）对航空航天工业的作用。航空航天工业零件渗碳生产的特点是多品种、小批量，同时具有零件形状复杂、渗碳质量要求高、大量不锈钢渗碳等特点。采用真空低压渗碳设备可满足上述特点：

1）采用真空高温低压渗碳后进行高压气淬，可以有效控制形状复杂零件的畸变，畸变量可以控制在 0.05mm 以内。

2）真空高温低压渗碳技术可以实现高水平的渗碳均匀性，渗碳质量大幅度提高。

3）传统的气体渗碳技术不能解决内表面、内花键防渗问题，必须采用真空高温低压渗碳专用防渗碳技术。

4）不锈钢类材料的渗碳一直以来是国内外技术难题。由于不锈钢类材料表面自身氧化和在传统的气体渗碳炉产生的微量氧化，都极易在不锈钢表面产生渗碳钝化膜，影响渗碳质量和渗碳效率，而真空高温低压渗碳设备具有真空高温下的还原性好的特点，配合真空低压渗碳专用工艺，可以有效清除渗碳钝化膜，保证渗碳质量和渗碳效率。（北京机电研究所丛培武供稿）

三、标准内容（JB/T 11809—2014）

真空低压渗碳炉热处理技术要求

1 范围

本标准规定了真空低压渗碳淬火热处理设备，工艺过程，质量控制与检验，安全、卫生和环保等技术要求。

本标准适用于钢件采用乙炔、丙烷等羟类气体作为渗碳介质进行真空低压渗碳淬火的热处理工艺。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 150.1　压力容器　第1部分：通用要求

GB 150.2　压力容器　第2部分：材料

GB 150.3　压力容器　第3部分：设计

GB 150.4　压力容器　第4部分：制造、检验和验收

GB/T 230.1　金属材料　洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）

GB 3095　环境空气质量标准

GB/T 3480.5　直齿轮和斜齿轮承载能力计算　第5部分：材料的强度和质量

GB/T 4340.1　金属材料　维氏硬度试验　第1部分：试验方法

GB/T 4844　纯氦、高纯氦和超纯氦

GB 4962　氢气使用安全技术规程

GB/T 5216　保证淬透性结构钢

GB 5959.1　电热装置的安全　第1部分：通用要求

GB 5959.4　电热装置的安全　第4部分：对电阻加热装置的特殊要求

GB 6819　溶解乙炔

GB/T 7232　金属热处理工艺　术语

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1　电热设备的试验方法　第1部分：通用部分

GB/T 10066.4　电热设备的试验方法　第4部分：间接电阻炉

GB/T 10067.1　电热装置基本技术条件　第1部分：通用部分

GB/T 10067.4　电热装置基本技术条件　第4部分：间接电阻炉

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 22561　真空热处理

GB/T 25744　钢件渗碳淬火回火金相检验

JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火

JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度测试通则

JB/T 6955　热处理常用淬火介质　技术要求

JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气一般技术条件

JB 8434　热处理环境保护技术要求

JB/T 10175　热处理质量控制要求

SH 0553—1993　工业丙烷、丁烷

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324 界定的术语和定义适用于本文件。

3.1　真空低压渗碳　vacuum low pressure carburizing

在真空炉内采用低于3000Pa的乙炔、丙烷等烃类气体作为渗碳介质进行的真空渗碳工艺。

3.2　真空高压气淬　vacuum high pressure gas quenching

在真空炉内采用高于 5×10^5Pa 的单一或多种非氧化性气体作为淬火介质的气淬工艺。

4　真空低压渗碳炉分类

4.1　真空低压渗碳炉按结构形式可分为卧式、立式。

4.2　真空低压渗碳炉按功能空间可分为单室、双室、多室。

5　真空低压渗碳炉要求

5.1　一般要求

真空低压渗碳炉应满足热处理工艺规范，技术参数应符合 GB/T 22561、GB/T 10067.1、GB/T 10067.4 的规定。

5.2　真空低压渗碳炉组成

真空低压渗碳炉主要由炉壳、渗碳加热室（炉胆）、渗碳气体送排气系统、高压气淬系统、油淬系统、真空系统、控制系统和辅助设备组成。

5.3　真空低压渗碳炉各部分要求

5.3.1　炉体

5.3.1.1　炉体由炉壳和炉门组成。炉壳为双层水冷套结构，炉门也为双层水冷套结构。外层用优质碳钢，内层用碳钢或不锈钢板焊接制成。

5.3.1.2　炉体的设计、制造、检验安装应符合 GB 150.1 ~ GB 150.4 的规定。对于高压炉体，制造商必须具备高压容器的设计和制造资质。

5.3.1.3　炉壳焊接加工后，必须经过去应力处理，并进行水压、气压及检漏仪的检测，保证焊接质量和炉壳的气密性。

5.3.1.4　具备高压气淬功能的炉体，其炉门法兰和炉体法兰应采用齿啮式卡箍连接结构。卡箍连接系统应配有安全联锁装置，只有安全联锁装置确认卸压后，炉门才能打开，并且应设置明显的标志来区别操作状态和开启状态。

5.3.2　渗碳加热室（炉胆）

5.3.2.1　真空低压渗碳炉渗碳加热室内的结构材料在热处理过程中不应与工件或渗碳气体发生反应。

5.3.2.2　加热室内的加热元件采用石墨材质，根据设计要求，制成圆棒状或带状。加热元件的布置和功率分布应保证炉温均匀性和加热工艺的要求。

5.3.2.3　隔热层一般采用多层碳毡，最内层为经过高温烧结的石墨硬毡。隔热屏总厚度一般不小于 50mm。

5.3.2.4　渗碳加热室内安装有石墨料台，料台应在最高加热温度和最大装载量条件下具有足够的强度。在料台横梁上应有陶瓷隔条，防止料盘或工装直接与石墨横梁接触。

5.3.2.5　渗碳加热室内设有与外部充气系统相连接的渗碳气体喷嘴，喷嘴一般为多组，以保证渗碳加热室内的气氛均匀。

5.3.2.6　对渗碳加热室应进行定期检查和维护。

5.3.3　渗碳气体送排气系统

5.3.3.1　渗碳气体送气系统包括外部气源、送气管路、充气阀、质量流量计、炉内喷嘴等。

5.3.3.2　渗碳气体排气系统包括真空机组、排气管路、放气阀、炭黑过滤器等。

5.3.3.3　真空低压渗碳炉采用低压脉冲的方式向炉内送入低压渗碳气。

5.3.3.4　根据装炉条件和渗层等工艺要求的不同，开启一组或多组渗碳气体喷嘴。每组喷嘴配备独立的送气系统，应能够通过质量流量计独立精确控制渗碳气体送气的流量，确保炉内气氛均匀。

5.3.4　高压气淬系统

5.3.4.1　高压气淬系统包括冷却电动机、风机、热交换器、导流装置等。

5.3.4.2　气淬可以采用外循环或内循环方式。炉内气体喷射方向可以采用360°圆周喷射、上下（交替）喷射、左右（交替）喷射、前后（交替）喷射或上述喷射方式的组合，应能满足高压气淬工艺要求。

5.3.4.3　高压气淬室设计、制造、检验、安装应符合 GB 150.3、GB 150.4 的规定。

5.3.4.4　高压气淬室应配备压力传感器、自动放气阀、安全保护阀等装置。

5.3.4.5　高压气淬室应具备淬火冷却气体充入压强自动控制和压强自动补偿功能。高压气淬时，从打开充气阀开始充气至设备达到额定充气压力和冷却电动机起动并达到规定转速所需的时间一般不大于25s。

5.3.4.6　冷却风机转速和冷却时间应可以调节，以满足不同的工艺要求。

5.3.4.7　高压气淬室热交换器一般采用水冷方式单独供水，冷却水进口温度为5～35℃（具有特殊要求的水温不高于27℃，应配有冷却水装置）；出水口温升不应超过20℃（气淬时允许短时超越）。快速冷却水压力不小于0.2MPa，流量可以调节，配有断水报警保护装置。

5.3.4.8　高压气淬室放气管路应配备消声器。

5.3.4.9　高压气淬室应具有压力调节功能，以适应工件缓冷要求。

5.3.4.10　高压淬火用气优先选用高纯氮气（N_2），也可用氩气（Ar）、氦气（He）、氢气（H_2）等气体及它们之间不同比例的混合气，纯度应符合 JB/T 7530 的规定。氦气的使用应符合 GB/T 4844 的规定，氢气的使用应符合 GB 4962 的规定。

5.3.5　油淬系统

5.3.5.1　真空油淬室内应设有送料机构和淬火升降机构。送料机构完成工件在加热室和冷却室之间的转移，淬火升降机构完成工件的入油淬火。

5.3.5.2　送料机构和淬火机构应保证运行平稳，并保证工件的淬火转移时间。工件由加热室开始向油淬室移动至完全浸入淬火油的总时间应不大于25s。

5.3.5.3　淬火油槽淬火瞬间充入氮气时，油面压强应能自动控制。淬火槽油面压强推荐8×10^4Pa。

5.3.5.4　淬火油槽温度应能自动控制和调节，采用具有控温功能的仪表、热电偶、油加热器等对真空淬火油温度进行控制。

5.3.5.5　淬火油搅拌（或喷射）速度应具备调节和自动控制功能。

5.3.5.6　淬火油导流装置和油冷却换热器应满足工艺要求。油淬时，淬火油温升应不大于25℃。

5.3.5.7　淬火油槽应安装油位指示计和油位安全报警装置。

5.3.5.8　淬火油应选用符合 JB/T 6955 规定的真空淬火油，以满足工件真空淬火后的硬度及光亮度要求。首次加油后要进行加热、抽真空除气。

5.3.5.9　为适应工件缓冷要求，真空油淬室应具有2×10^5Pa气冷功能。

5.3.6　真空系统

5.3.6.1　真空系统应配有具备足够抽气能力的真空泵组以满足并维持真空渗碳热处理工艺的真空度要求。

5.3.6.2　在空炉并经干燥、除气的情况下，加热室冷态极限真空度应不低于1.33Pa。不同工作容积的真空炉，应在表1规定的时间内抽到规定的工作真空度。

5.3.6.3　真空泵组与真空炉体之间应配备炭黑、焦油过滤装置并定期清理，真空泵内的油应定期更新，做好维护保养工作。

5.3.7　控制系统

5.3.7.1　以智能化控温仪表、可编程序控制器、加热变压器、真空计及记录仪为核心构成包括供

电、控制、记录、监视、报警保护功能在内的控制系统。可以通过自动或手动方式实现全部工艺过程。

表1 真空炉抽到工作真空度的时间

真空炉工作容积 /m^3	工作真空度 /Pa	抽到工作真空度的时间 /min	真空炉工作容积 /m^3	工作真空度 /Pa	抽到工作真空度的时间 /min
<1.0	≤5.0	≤20	>5.0	≤5.0	≤60
1.0~5.0	≤5.0	≤40			

5.3.7.2 真空低压渗碳炉控制系统应配置渗碳气体压强、流量测量指示和控制仪表，应配置电压、电流、加热区温度、炉内压强、冷却水温度测量指示仪表。

5.3.7.3 真空低压渗碳炉各加热区段都必须配置独立的温度控制系统，各区段的加热功率配置应满足所涉及额定载荷的加热、保温的需要，且应保证温度均匀性符合要求。

5.3.7.4 真空低压渗碳炉加热室的每个加热区至少应有两支热电偶，一支接温度自动控制仪表，另一支接温度指示自动记录仪表，安装在靠近炉子有效加热区的位置。其中一块仪表应具有超温报警功能。

5.3.7.5 真空低压渗碳炉控温仪表精度应不大于0.2级，记录仪表精度应不大于0.5级，有效加热区内温度均匀性偏差应不大于±8℃，炉温均匀性应按GB/T 9452规定定期测量，炉子应配备炉温均匀性测定用安装孔或专用装置。

5.3.7.6 真空低压渗碳淬火炉温度测量系统在正常使用状态下，应定期做系统精度校验。系统精度校验允许温度偏差不大于±1℃。炉子应配有系统精度校验热电偶安装孔。

5.3.7.7 真空低压渗碳炉可选用计算机监控系统进行控制。计算机监控系统具备半自动控制系统或全自动控制系统，可对生产和工艺全过程进行监控和记录。

5.3.7.8 真空低压渗碳炉的其他技术要求应符合JB/T 10175的规定。

5.3.8 炉外送料车

5.3.8.1 送料由液压升降驱动的叉式小车完成。

5.3.8.2 对于装炉量超过600kg的炉型，其配备的料车应具备自动送取料功能。

5.4 真空低压渗碳炉基本技术指标

5.4.1 最高温度

真空低压渗碳炉最高温度一般为1350℃。

5.4.2 工作温度

真空低压渗碳炉工作温度一般为920~1050℃。

5.4.3 炉温均匀性

真空低压渗碳炉在有效加热区内的炉温均匀性不大于±8℃。其炉温均匀性检验方法应符合GB/T 9452的规定。

5.4.4 极限真空度

真空低压渗碳炉的极限真空度不大于1.33Pa。

5.4.5 工作真空度及抽空时间

真空低压渗碳炉工作真空度不大于5Pa。当工作容积小于1m^3时，抽至工作真空度时间应不超过20min；工作容积介于1~5m^3之间时，抽至工作真空度时间应不超过40min；工作容积大于5m^3时，抽到工作真空度时间应不超过60min。

5.4.6　压升率

真空低压渗碳炉加热室在冷态、空炉状态并经过充分干燥后的压升率一般应小于 1.33Pa/h。

5.4.7　空炉升温时间

真空低压渗碳炉应在加热开始后 1h 内升到 1050℃。

5.5　性能测试要求

5.5.1　试验条件

真空低压渗碳炉的试验条件应按 GB/T 10066.1 和 GB/T 10066.4 的规定进行。

5.5.2　压升率的测量

按 GB/T 10066.1—2004 中 7.1.10.3 规定的方法测量。

5.5.3　工作真空度的测量

按炉的额定装炉量和试验工艺进行工业运行以测量工作真空度。

5.5.4　极限真空度的测量

炉子首先经烘炉并充分除气后，在空炉冷态情况下，用真空炉本身配套的真空系统进行测量，按正常情况下启动真空泵，应达到 5.4.4 的规定。

5.5.5　抽空时间的测量

空炉条件下，从炉内起始气压为一个大气压（1×10^5Pa）时起动真空泵抽气，到炉内真空度达到 5.4.5 规定的工作真空度的时间，即为抽空时间。

5.5.6　空炉升温时间的测量

空炉条件下，炉内真空度达到工作真空度后即可进行试验。试验电压的波动不应超过额定电压值的 ±10%。从炉子接通电源到炉温升至额定温度的时间即为空炉升温时间。如炉子使用多支热电偶，以最后一支热电偶升至额定温度的时间为准。

5.5.7　炉温均匀性的测量

炉温均匀性应在试验温度下的热稳定状态进行测量。其测量应按 GB/T 9452 的规定进行。

5.6　设备可靠性

5.6.1　真空低压渗碳炉故障分类

一类故障——在生产中发生必须停炉降温检修的故障。

二类故障——在生产中炉内发生可在不影响生产的情况下迅速修复的故障。

三类故障——在生产中发生属于电器元件质量、安装不牢固或运行不顺畅等只需稍作紧固或调整即可解决的问题。

注：对易耗品的正常损坏和更换不视为故障。

5.6.2　真空低压渗碳炉可靠性指标

5.6.2.1　1 年内不得出现因设备设计制造不当造成的一类故障（不包括因操作维护不当或易损件提前失效造成的停炉故障）。

5.6.2.2　六个月内不得出现因设备设计制造不当造成的二类故障（不包括因操作维护不当或易损件提前失效造成的停炉故障）。

5.6.2.3　一个月内不得出现 3 次三类故障（不包括零部件异常失效等造成的停炉故障）。

5.6.2.4　设备的炉体使用寿命应保证在 5 年以上，发热元件使用寿命应保证在 2 年以上，加热电源使用寿命应保证在 5 年以上，真空泵使用寿命应保证在 1 年以上。

6　工艺及工艺过程要求

6.1　渗碳气体要求

6.1.1　真空低压渗碳气体为乙炔气（C_2H_2）或丙烷气（C_3H_8），纯度应不低于 96%，并应符合

GB 6819 和 SH 0553—1993 的规定。

6.1.2　工艺过程压强调节用气体为高纯氮气（N_2），纯度应不低于 99.996%，并应符合 JB/T 7530 的规定。

6.2　工艺参数

6.2.1　真空渗碳加热温度

真空低压渗碳温度一般采用 920 ~ 1050℃。对于对畸变要求严格的工件可选择较低的渗碳温度。

6.2.2　渗碳压强和气体流量

真空低压渗碳气体压强一般为 300 ~ 2000Pa，常用压强为 400 ~ 800Pa，渗碳气进口压强一般设定为 2×10^5Pa，并能维持恒定。强渗过程中渗碳气的供给应采用脉冲方式通入，气体压力、流量应保持稳定。为了平衡炉内压强，扩散过程可通入适量氮气。强渗过程中渗碳气通入量一般按装入工件的表面积确定。

6.3　工艺过程要求

6.3.1　工件及工装

6.3.1.1　入炉工件及工装夹具应进行清洗，不应有锈斑，不应有对工件、炉膛产生有害影响的污物、低熔点涂层、镀层等。需要防渗碳的部位可采用增加加工余量、镀层或戴防渗螺母等办法防渗碳。

6.3.1.2　工装夹具的选择应防止与工件在工艺过程中发生低熔点共晶反应或粘合。

6.3.1.3　工件畸变要求比较高时，可设计和使用专门的工装夹具或模具。

6.3.1.4　工件要装炉合理，并随炉装有试样，试样的材料和前期处理条件应与工件相同，试样的尺寸应能反映工件的真实检测情况。

6.3.2　加热及保温

工件入炉达到规定的工作压强后加热升温。控制升温速度，使工件各部分之间不产生明显的温差。根据工件形状、装炉方式及对变形的要求选择不同的加热速率，在低温阶段可采用对流加热。一般在 700 ~ 800℃ 预热，待工件温度一致，继续升温到工作温度并保温 20 ~ 30min 后开始渗碳。

6.3.3　渗碳

6.3.3.1　对于对畸变要求严格的工件可选择较低的渗碳温度。

6.3.3.2　真空低压渗碳时间分为强渗碳期和扩散期。强渗期时间和扩散期时间及脉冲次数可通过具体试验或工艺软件获得。

6.3.4　淬火冷却

6.3.4.1　高压气淬

真空低压渗碳高压气淬的工件，应选用高淬透性低碳合金钢，并应符合 GB/T 5216 的规定。高压气淬压力一般为 5×10^5 ~ 20×10^5Pa。为了减小工件变形，高压气淬过程可以在不同阶段通过选择不同的冷却速度和冷却时间来实现对工件的分阶段冷却淬火。

6.3.4.2　油淬火

真空淬火油在淬火前应充分脱气并排除水分，必要时适当加热，使油温控制在 20 ~ 80℃ 范围内。为控制油面压强，淬火时应充入高纯氮气，并控制压强在 8×10^4Pa 左右。淬火时，应对油槽进行搅拌和循环冷却。

6.3.4.3　炉冷

按工艺规定随炉冷却时，冷却过程应保持真空度，当炉温降至 100℃ 以下时方可停止抽真空。

6.3.5　出炉及清洗

工件应降温到低于100℃出炉，油淬工件出炉后应进行清洗除油。

7　质量控制与检验

7.1　质量控制

7.1.1　热处理质量控制应符合 JB/T 10175 和本标准的规定。

7.1.2　处理前工件的表面应无油污、伤痕及锈蚀，其原材料及金相组织应符合要求。

7.1.3　对局部渗碳的工件应有适当的保护措施。

7.1.4　工件装夹具应避免工件渗碳部位相互接触。

7.1.5　真空渗碳炉的各工艺参数应稳定在工艺规定的范围内，定期对温度仪表、热电偶、真空计、质量流量计等进行检查并定期校验，以保证其工作准确性。

7.1.6　渗碳气气源质量应稳定，符合相应的标准或技术规范要求。

7.2　质量检验

7.2.1　外观

工件表面应光亮、无裂纹、磕碰、锈蚀及氧化皮等缺陷。一般采用目视检查，必要时可采用放大镜或体视显微镜等确认。

7.2.2　硬度

工件表面硬度和心部硬度应符合图样规定或符合工艺规定的技术要求，偏差应符合 JB/T 3999 的规定，硬度检验方法应符合 GB/T 230.1、GB/T 4340.1 和 JB/T 6050 的规定。

7.2.3　硬化层深度

经渗碳淬火后的工件，其硬化层深度应符合图样要求或工艺规定的技术要求，偏差应符合 JB/T 3999 的规定或供需双方技术协议的要求，硬化层深度的检验方法应符合 GB/T 9450 的规定。

7.2.4　金相组织

金相组织检验应包括马氏体级别、残留奥氏体级别、碳化物形态级别等。

金相组织检验应符合 GB/T 3480.5、GB/T 25744 的规定，或供需双方技术协议的要求。

7.2.5　畸变

畸变量检测应使用相应的测量仪器或量具，工件畸变应符合产品过程控制中对畸变量的要求。

7.2.6　其他

依据产品要求，进行力学性能测试。

检测方法采用相应设备和按相应标准进行。

8　安全、卫生和环保要求

8.1　安全、卫生应符合 GB 15735、GB 5959.1、GB/T 5959.4 和 JB 8434 的规定。

8.2　真空低压渗碳炉操作人员应接受设备生产厂家或拥有相关资质的机构进行设备操作及安全培训后持证上岗。

8.3　真空渗碳淬火工艺使用气体中不允许混入空气，保证安全进出炉。

8.4　真空热处理过程中的气体排放应符合 GB 3095 的要求，必要时应对排出气体进行净化处理。

8.5　真空低压渗碳炉工作时，主炉体表面温升应不高于20℃。

8.6　在常压不通冷却水条件下，加热元件对地绝缘电阻应不低于5MΩ。

8.7　设备停炉或长期放置时，所有真空室必须抽真空，防止炉内材料长期接触空气造成设备真空度等性能指标的下降。

8.8　高压储气罐及管路按特种设备要求，由所在地质量技术监督局定期检定。

8.9　高压储罐与增压系统的安装、管路连接、验收必须由具有相应资质的部门人员完成并严格执行安检程序。

8.10　设备所有电加热系统和可能伤及操作人员的运动部件均应设置可靠的防护罩和明显的警示牌。

8.11　生产过程中突发停电、停水、停气等情况时，设备本身和现场管理应有相应的安全应急措施，以保证人员、设备和工件的安全。

8.12　在结冰天气或长时间停炉时，应注意排放炉体夹层和管路中的循环水，防止炉体、真空泵机组等部件冻裂。

8.13　易燃易爆气体应存放在专用库房内，设置明显安全警示标志，并应妥善保管和安全使用。

第十节　热处理用真空清洗机技术要求

一、概论

清洗虽然是热处理生产过程中一道辅助工序，但它直接影响到热处理产品的质量和外观，尤其热处理清洗废液已成为热处理行业的污染源之一，解决热处理清洗问题非常迫切。

热处理清洗机根据清洗方式可分为：物理清洗机和化学清洗机；根据工作压力，可以分为常压清洗机和真空清洗机。传统的清洗机多在开放的常压状态下通过碱液或金属清洗剂的浸泡、高压喷淋、热风烘干等工序实现工件的清洗。在常压下，仅仅通过浸泡和压力冲刷，油污不易完全从工件表面剥离，同时对于形状复杂或有螺纹、盲孔的工件清洗效果不佳，而且通常耗水量大，使用成本高且排污费水对环境污染严重。而真空清洗技术是近20年来清洗行业的一大技术革命，主要采用真空条件、液面下发泡技术、利用气泡碰撞工件破裂产生的强大爆破力实施对工件的清洗，同时利用负压条件下水或溶剂的沸点下降的原理来轻易实现对工件的干燥。真空清洗机用水或溶剂在真空状态下通过浸泡中发泡、喷淋、蒸汽清洗、真空干燥等方式对工件实施复合清洗。液体在负压加热后，分子运动增强，表面张力减小，污物附着力降低，在真空力作用下工件上的附着物便更容易被带走。一般工件及附着物内总有少量空气，在真空作用下形成的压差使空气迅速膨胀，压差形成的膨胀力使污物脱离工件表层。快速抽真空有加速作用，污物脱离显著增强，而且在负压状态下物质的沸点随着真空度的提高而降低，这便是真空发泡清洗和真空干燥的基本原理。

按照清洗溶剂的不同，热处理真空清洗机又可分为水剂真空清洗机和溶剂真空清洗机。所用溶剂清洗剂不破坏大气臭氧层，对人体无害。石油基碳氢有机溶剂对淬火油、切削油、防锈油等具有很强的溶解能力，有很好的清洗效果。同时，溶剂在真空密闭的环境中通过加热蒸发、再冷凝很容易实现再生回收，由于采用的溶剂成分较单一、沸点界限较窄，因此再生率及再生纯度都很容易达到99%以上，每次清洗周期消耗溶剂很少。溶剂不会被污染，可重复使用。清洗下来的沸点稍高的废油也能实现完全回收，不会产生任何有害烟气、无污液排放。真空清洗机清洗效果好，生产率高，节能且对环境友好，有逐步取代常压清洗机的趋势。

热处理用真空清洗机目前在国际上尚无通用标准，因此没有采标。该标准主要执行各个制造商的企业标准，而各企业标准的内容和要求均存在较多的不一致，有必要根据我国使用和制造单位的实际情况加以规范。

在真空清洗机技术要求方面，我国有一些关于真空设备的通用标准如GB/T 10067.1—2005《电热设备基本技术条件　第1部分：通用部分》、GB/T 10066.1—2004《电热设备的试验方法　第1部分：通用部分》、GB 5226.1—2008《机械电气安全　机械电气设备　第1部分：通用技术条件》等。这些标准主要对电热设备的基本的技术条件（包括电热设备的设计要求、制造要求、性能要求、成套要求和试验方法）、电热设备的试验方法（包括冷态试验和热态试验的具体项目、每

个项目的试验方法和合格标准）、电热设备的控制要求（包括机械的电子、电气和可编程序电子设备及系统）等做了详细的规定。真空清洗机属于热处理设备的辅助设备，它的特有功能主要是真空清洗，清洗和清洗后干燥的质量对热处理质量产生较大的影响，但目前我国的这些标准还缺乏对真空清洗机的特有功能系统的规定，所以急需针对真空清洗机制定一个具有较高技术水平的规范来指导真空清洗机的设计、制造和使用。

二、标准应用说明

1. 编制原则

本标准的制定遵循“面向市场、服务行业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，力争“务求实效，细化要求，提高质量，增强可操作性”。

1）主要技术内容参考了国内外几大清洗设备制造商的企业标准，结合我国现在和未来清洗技术发展的要求而制定。

2）本标准的制定是根据各企业的热处理生产需求和设备制造企业实际生产能力，明确了热处理真空清洗机的概念，规定本标准的适用范围。

3）结合真空清洗机的最新发展情况，明确了真空清洗机的构成、清洗方式、基本参数及技术条件等条款。

4）明确了设备本身防止突发事件时的各类安全保障措施及防护内容。

5）考虑了设备在生产和使用过程中的环保因素。

6）该标准的制定体现了小批量，多品种，以用户订单生产为主，满足用户需求，遵守技术协议的原则，技术要求主要体现真空清洗机的主要性能特征，如装炉量、使用温度和真空压力设计等。

7）本标准结构方面严格按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则　第 1 部分：标准的结构和编写规则》编写，将其转化为符合行业标准的标准文件。

2. 主要内容

本标准规定了热处理用真空清洗机的产品定义、技术要求、试验方法和检验规则，确定了真空清洗机的使用范围。

本标准主要包括产品的分类、基本参数、一般要求、工作条件、设计和制造要求、性能要求、试验方法、安全生产、环保要求等方面内容。

本标准属产业结构调整与优化升级、战略型新兴产业培育中节能、环保型技术标准，填补了热处理用真空清洗机标准的空白，解决了真空清洗机在基本参数、工作条件、性能要求、试验方法、安全生产及环保等方面要求的不一致问题，为企业的选型和使用提供了依据及指导。

3. 主要试验（或验证）情况分析

（1）常用的清洗方式

1）浸渍清洗。在清洗槽中加入清洗液，将被洗工件浸渍其中进行清洗。由于仅靠清洗液的化学作用清洗，所以洗涤能力弱，需要很长的时间。

2）喷气清洗。在清洗槽内安装喷气喷管，用气体将清洗液喷射到被清洗工件上进行清洗。清洗压力 >2MPa。

3）喷淋清洗。在清洗槽内安装喷淋装置，将清洗液喷射到被清洗工件表面，靠清洗液的冲击力（物理作用）促进洗涤，洗涤能力比浸渍清洗强。清洗压力 <2MPa。

4）发泡清洗。在清洗槽内产生负压，由于减压，洗涤剂能较好地渗透到被洗工件的缝隙之间。若和超声波配合，清洗效果会大大增加。

（2）热处理零件的前后清洗方法

1）碱水清。直接加热或间接加热清洗槽，清洗液是质量分数为3%～10%的Na_2CO_3或NaOH水溶液。碱液清洗可采取喷淋和浸渍双重方式，然后用热清水冲洗，最后利用工件的自身余热进行干燥。碱水清洗方法最主要的缺点是清洗效果不太好，尤其工件的盲孔和凹部易有污斑和残留物。对于碱水清洗产生的废水必须进行中和处理，并回收废油，达到相关环保要求方可排放。

2）金属清洗剂清洗。为克服碱水清洗方法的缺点，提高清洗效果，目前可采用专用的金属清洗剂，将清洗剂在40～80℃的水中稀释成质量分数为1%～3%的溶液，将工件在溶液中浸泡15～20min，然后用热水漂洗，最后进行干燥。金属清洗剂清洗方法缺点是价格相对较贵，对工件有一定腐蚀作用，废水污染环境，因此必须对废水进行处理，并回收废油。

3）卤素溶剂清洗。使用三氯乙烷、三氯乙烯等有机溶剂清洗，清洗效果佳。但在常压下以浸泡或喷淋方式清洗淬火工件时，有机溶剂的挥发和飞溅会污染环境。因此，必须在密闭真空的环境中进行清洗。工件在没有空气的情况下和高密度的溶剂蒸汽均匀接触，进一步提高清洗效果，并靠真空蒸馏回收溶剂和油。但由于三氯乙烷等溶剂具有破坏臭氧层的作用，已被国内外禁止或限制使用，正面临淘汰。

4）燃烧脱脂法。对于需要进行前清洗的工件，可把工件在脱脂炉内加热到450～500℃，使油分汽化或燃烧，以达到工件去油的目的。燃烧脱脂法仅适用于热处理前段清洗，也能清洗切削油、防锈油等轻质、低黏度及低沸点油类。像高黏度、高沸点的重质淬火油燃烧后会有大量残留物和炭黑附着在工件表面，达不到清洗目的。

5）高级清洗技术。对于采用表面清洁度要求较高的汽车零件及航空零件等，需要采用高级环保清洗工艺及设备，如采用真空清洗工艺及设备、超声波清洗工艺及设备等。零件清洗后，不仅对环境无污染，还可以达到很高的清洁度，满足了环保和对零件高清洁度的要求。

（3）清洗剂

可根据污物种类及采用的清洗工艺（如喷射、浸渍、真空、超声波等）来选择合适的清洗剂。常用的清洗剂有水溶性清洗剂和有机溶剂清洗剂等。为达到环保要求，应优选高效环保的清洗剂。

1）水溶性清洗剂。其中又包括碱性清洗剂和合成清洗剂。碱性清洗剂是一种使用最广泛的清洗剂，由增洁剂和表面活性剂的碱土金属盐混合配制而成，能够除去可溶性油脂、切削液及带腐蚀性污物，其价格相对低廉。合成清洗剂是一种含胺基物质的有机碱性清洗剂，可用于清除工件表面的淬火油和聚合物溶液。

2）有机溶剂清洗剂。其中又包括卤素溶剂清洗剂和碳氢类清洗剂。卤素类清洗剂主要是三氯乙烷、三氯乙烯、四氟化碳等溶剂。这类清洗剂可有效去除淬火油等污渍，但易挥发，会破坏臭氧层，在2010年时已被全面禁止使用。碳氢化合物溶剂清洗剂具有良好的洗净能力及环保性能，克服了常规清洗及卤素类清洗的缺点。碳氢化合物清洗溶剂的溶剂类型为第四类第3石油类碳氢化合物。它与油污的渗透性能力强，洗涤效果好，无毒性，无气味，可再生利用，对环境没有影响，是一种高效环保的清洗剂。

（4）清洗工艺的试验对比

1）水溶性清洗剂不同温度及不同浓度的对比试验。为选择适宜的高效、低泡且腐蚀性小及符合环保要求的清洗剂，对市售的多种金属清洗剂进行了适用性对比，最终选择了某一种水基清洗剂与真空水基清洗机配套使用，并对其工艺性进行了试验。这种清洗剂是由表面活性剂、助洗剂和缓蚀剂等组成，有效成分100%，不含亚硝酸钠，无毒、无味，并对清洗零件具有一定的防锈能力。这种水基清洗剂与市售的民用洗涤剂（合成洗衣粉）安全性相似，符合环保要求。表3.10-1所示为某品牌水基清洗剂不同温度下的清洗效果。

由表 3. 10-1 可知，该清洗剂在 80℃以下时，随着温度的升高，清洗效果越好。但在高温下容易腐蚀工件。较好的使用温度是在 60℃左右，此时有最佳的清洗效果且基本无腐蚀。表 3. 10-2 是该清洗剂不同浓度下清洗效果的试验对比。

表 3. 10-1　某品牌水基清洗剂不同温度的清洗效果

试样号	清洗温度/℃	原始质量/g	带油质量/g	清洗后质量/g	清洗效果(%)	清洗后试样外观
1	20	16. 7007	16. 8098	16. 7036	97. 3	表面较光亮，但有一块明显油污
2	40	16. 7849	16. 8498	16. 7861	98. 1	表面较光亮，有一小块腐蚀斑点
3	60	16. 4064	16. 4707	16. 4067	99. 5	表面较光亮，基本无腐蚀斑点
4	80	16. 3068	16. 3079	16. 2368	98. 9	有多处明显腐蚀斑点

表 3. 10-2　不同浓度清洗剂的清洗效果

清洗液含量(质量分数)	试验号	原始质量/g	带油质量/g	清洗后质量/g	清洗效果(%)
3%	1	16. 5681	16. 6445	16. 5692	98. 8
	2	16. 8049	16. 8726	16. 8050	
	3	17. 1261	17. 2088	17. 1272	
5%	4	16. 7824	16. 8491	16. 7646	96. 4
	5	16. 6072	16. 6752	16. 6090	
	6	16. 8212	16. 8987	16. 8249	

注：清洗液温度为 60℃。

从表 3. 10-2 可以看出，浓度的增高清洗效果反而下降，并在工件表面出现较多花斑，因此确定使用的金属清洗剂的质量分数应以 3%左右为宜。

2）一定温度一定浓度下不同清洗方式的清洗效果对比。对比试验的目的是在真空水基清洗机内，通过四种不同的清洗方式的清洗效果对比，选择出较好的清洗方式。

试验条件如下：

①试验工件：带沟槽的 20CrMnTi 钢制零件。

②清洗液的质量分数为 3%，温度为 60℃。

③清洗效果采用称重法及表面观察法检测。

④四种清洗方式：第一种，10min 浸泡发泡；第二种，10min 清洗喷淋；第三种，10min 漂洗喷淋；第四种，前三种方式加 5min 真空干燥。

试验结果如下：

①经第一种方式清洗后，工件表面的油污膜部分消失，油污膜隔离成片，不连续，工件表面沾有很多清洗液和泡沫，清洗效果为 51. 5%。

②经第二种方式清洗后，工件表面的油污膜部分消失，沟槽处仍有少许污物，工件表面沾有很多清洗液和泡沫，清洗效果为 91. 6%。

③经第三种方式清洗后，工件表面的油污膜基本消失，沟槽处基本无污物，工件上无残存泡沫，但水分较多，清洗效果为 96. 5%。

④经第四种方式清洗后，工件洁净度同③，增加抽真空干燥后，工件表面和料框上残水很少，工件不易生锈，清洗效果为 98. 8%。

从此试验可以看出，以第四种（浸泡发泡、清洗喷淋、漂洗喷淋、抽真空干燥）清洗效果最

好。工件表面光亮，无油污，沟槽处也清洗的较干净，增加抽真空干燥后，工件及料框上水分较少，不易生锈。

3）不同清洗方式的比较

通过试验对比可以看出，水基真空清洗、卤素溶剂真空清洗和石油系溶剂真空清洗的优劣（见表 3. 10-3）。

表 3. 10-3　不同清洗方式的比较

项目	水基真空清洗	卤素溶剂真空清洗	石油系溶剂真空清洗
清洗方法	浸泡、发泡、喷淋、摇动、 真空共沸清洗等	浸泡、发泡、蒸汽、喷淋	浸泡、发泡、蒸汽、喷淋
漂洗	温水	清洗溶剂	清洗溶剂
清洗剂种类	水、水溶性清洗剂及防锈剂	三氯乙烯等	链烃类
加热方式	直接加热	直接加热	间接加热
清洗费用	高	中	低
干燥性	良好	良好	优
作业环境	优	差	优
安全性	优	一般	一般
优缺点	不存在引火点 盲孔清洗效果一般	不存在火灾危险 环保法规限制使用	盲孔清洗效果好 有火灾危险

近年来，我国提出了可持续科学发展战略，热处理用真空清洗机由于具有节能、环保和节水等优点，正日益受到行业的重视，生产该类设备的企业日益增多。由于目前我国生产热处理用真空清洗设备企业规模不等、设计及生产技术水平参差不齐，在质量、环保节能和安全等方面存在较大的差异。作为影响热处理质量的重要设备，目前行业内没有相应的技术标准和要求，因此，急需制定相关的标准来规范热处理用真空清洗机的生产和制造，以促进热处理行业装备水平的提高。

4. 预期达到的经济效益与社会效益

随着可持续发展成为基本国策，环保和节能已成为装备制造业发展的主要目标之一。中国热处理行业“十二五”规划和 2020 年发展纲要中，把真空热处理列为先进技术成果转移和推广重点内容的第一项工作，且真空溶剂清洗机已被工业及信息化部列为重点推荐的节能减排热处理设备。热处理用真空清洗机不仅具有清洗效果好、环境友好的特点，而且高效、节能、运行费用低。以装载量为 600kg 的真空溶剂清洗机为例，与目前广泛使用的碱水清洗机相同规格型号进行比较。如表 3. 10-4 所示，运行成本每天可节约 963 元/天 - 491 元/天 = 472 元/天，综合使用成本每天可节约 1018 元/天 - 929 元/天 = 89 元/天。还有，真空溶剂清洗机具有优良的洗净效果及其高效的生产能力与环保性，经济及社会效益十分明显。

表 3. 10-4　运行成本比较

项目		600 型真空溶剂清洗机	600 型碱水清洗机
处理时间		35min/次	60min/次
运行成本	电费	总功率 77kW(60%) 20 炉，耗电费用 323 元/天	总功率 106kW(60%) 20 炉，耗电费用 763 元/天
	清洗剂费用	每次 0. 25L，20 次共 5L 溶剂，按 15 元/L，约 75 元/天	清洗剂、防锈剂(3 个月一换水)，约 170 元/天

（续）

项目		600 型真空溶剂清洗机	600 型碱水清洗机
运行成本	水费	密封循环，基本无消耗	平均每天耗水 0.4t，3 个月排污费 450 元/t，5t 共计 2250 元，平均水费约 30 元/天
	氮气费用	每炉 $3m^3$，20 炉，$60m^3$，按 1.55 元/m^3，93 元/天	
	小计	491 元/天	963 元/天
设备折旧(10 年)		160 万元/台 438 元/天	20 万元/台 55 元/天
合计		929 元/天	1018 元/天

目前我国热处理企业内有 2 万多台各类普通常压清洗机在服役，替代改造的任务很重，如逐步推广真空清洗机所产生的实际经济与社会效益将是非常可观的。

JB/T 11808—2014《热处理用真空清洗机技术要求》的制定对我国热处理用真空清洗机的设计和制造提出了高质量的规范要求。该标准的制定一方面能促进我国真空清洗机设计制造的水平；另一方面能够提高利用真空清洗机进行产品清洗的质量；同时也为真空清洗机性能参数向更高技术的发展和研发指明了方向，对产业结构调整具有支撑作用。（江苏丰东热技术股份有限公司向建华供稿）

三、标准内容（JB/T 11808—2014）

热处理用真空清洗机技术要求

1　范围

本标准规定了热处理用真空清洗机技术条件。

本标准适用于热处理用水基及溶剂真空清洗机。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5226.1　机械电气安全　机械电气设备　第 1 部分：通用技术条件

GB 5959.1　电热装置的安全　第 1 部分：通用要求

GB 5959.4　电热装置的安全　第 4 部分：对电阻加热装置的特殊要求

GB/T 7232　金属热处理工艺　术语

GB/T 8121　热处理工艺材料　术语

GB/T 10067.4　电热装置基本技术条件　第 4 部分：间接电阻炉

GB 12348　工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 19923—2005　城市污水再生利用　工业用水水质

JB/T 4323.1　水基金属清洗剂

JB 8434　热处理环境保护技术要求

JB/T 10895　可控气氛密封多用炉生产线　热处理技术要求

HG/T 2387—2007　工业设备化学清洗质量标准

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121、GB/T 13324 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1　真空清洗机　vacuum cleaning machine

在真空状态（工作压力小于 1.013×10^5Pa）下，用水基溶液或有机溶剂去除工件及工装上的液体和固体污染物的设备。

3.2　水基真空清洗机　water-based vacuum cleaning machine

以水或水基溶液作为清洗剂的真空清洗机。

3.3　溶剂真空清洗机　solvent-based vacuum cleaning machine

以石油系碳氢溶剂等有机溶剂作为清洗剂的真空清洗机。

3.4　溶剂回收再生装置　solvent recycling regenerator

溶剂真空清洗机中，将有机溶剂分馏、回收、再利用的装置。

3.5　中和剂　neutralizer

一种弱碱性金属防腐剂。

注：用于中和工件带入的切削液和防锈液等在清洗加热使用过程中产生的氯离子，防止氯化物对再生装置及真空泵产生腐蚀。

4　设备基本要求

4.1　真空清洗机本体应由钢板和型钢焊接而成，应有足够的强度和良好的密封性。水、气、油等管路及所有焊接处不得有渗漏现象。

4.2　有清洗过程中，真空清洗室应保持合适的真空度、工作温度、清洗剂液位等，并可根据清洗要求的不同，对上述主要参数进行设定调整，以达到合适的清洗效果。

4.3　真空清洗机应满足对工件洗净、干燥的要求。在批量生产条件下，应满足配套热处理生产线自动化生产流程的要求。

4.4　水基真空清洗机应采取必要的防腐措施，确保接触清洗液的部分不产生腐蚀。

4.5　溶剂真空清洗机应当有可靠的安全、防火设施和无害化处理排放系统。

5　设备技术要求

5.1　类型

热处理用真空清洗机按照清洗介质的不同，可分为水基真空清洗机和溶剂真空清洗机。

5.2　水基真空清洗机结构要求

5.2.1　一般要求

水基真空清洗机应符合 GB/T 10067.4、JB/T 10895、GB 5226.1 和本标准的规定。

5.2.2　水基真空清洗机的组成

5.2.2.1　水基真空清洗机通常由真空系统、清洗系统、加热系统、控制系统、油水分离及回收系统等组成，如图 1 所示。

图 1　水基真空清洗机基本构成

SV_1—清洗液排空阀　SV_2—漂洗液排空阀

SV_3—清洗液喷淋阀　SV_4—漂洗液喷淋阀

SV_5—复压电磁阀　SV_6—抽真空电磁阀

SV_7—发泡电磁阀

5.2.2.2　水基真空清洗机的清洗流程如图2所示。

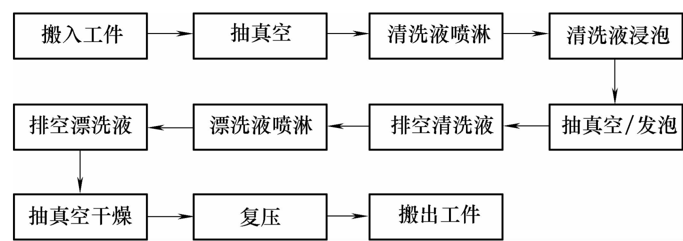


图2　水基真空清洗机的清洗流程

5.2.3　真空系统

5.2.3.1　真空系统包括真空泵、真空检测装置、真空阀门及气体排放管道等，使真空清洗机达到真空状态，实现对工件的真空清洗及真空干燥等清洗流程。

5.2.3.2　真空系统应满足真空清洗真空度的要求。

5.2.4　清洗系统

5.2.4.1　进出门

进出门的具体要求：

——进出门启闭应便于操作，驱动系统可以采用气动、液压、气-液压或电动驱动方式；

——进出门在关闭时，应保证具备一定的预压紧力，在负压及微正压状态下具有良好的密封性，清洗过程中无清洗剂渗漏。

5.2.4.2　清洗室

清洗室是用于对工件进行喷淋、浸泡、发泡清洗及真空干燥等的装置：

——清洗室本体设置真空排气口、排液口等各种接口，各接口处应安装真空阀门；

——清洗室本体内工件周围布置有若干喷淋口，用于对工件进行喷淋清洗；

——清洗室内工件底部应设置发泡装置，利用清洗室与外部大气的压力差，在浸泡时产生微气泡，利用微气泡碰撞工件破裂时产生的爆破力，使油膜与工件分离；

——清洗室应安装回流切换回路，以实现喷淋与浸泡的切换以及清洗液和漂洗液的分别回流；

——清洗室应安装液位计、真空计、热电偶（或热电阻）等检测装置。

5.2.4.3　清洗液槽和漂洗液槽

清洗液槽和漂洗液槽的具体要求：

——清洗液槽是用于存放清洗液的装置；

——清洗液槽分主槽和副槽两部分，主、副槽之间用隔板隔开，上部通过溢流口相连；槽体应外覆保温材料，以减少热量损失；

——清洗液槽应设置液位计及自动补水系统，以维持清洗液槽液面工作高度稳定；

——清洗液槽应安装具有自动温度控制功能的加热装置，加热回路应与液位计互锁，防止由于液位过低造成加热器干烧，导致设备损坏；

——漂洗液槽是用于存放漂洗液的装置，漂洗液相对于清洗液要更为清洁，使用中有时会加入少量防锈剂，漂洗液槽结构与清洗液槽相同。

5.2.4.4　喷淋装置

喷淋装置的具体要求：

——用于对工件进行清洗液喷淋和漂洗液喷淋的装置；

——喷淋系统包括清洗液喷淋泵、漂洗液喷淋泵、喷淋管和喷嘴等，喷淋管和喷嘴安装于清洗室内部、分布于工件周围；

——喷淋系统应确保清洗液和漂洗液不发生混液。

5.2.5 加热系统

5.2.5.1 加热系统主要用于对清洗液和漂洗液的加热与保温。

5.2.5.2 加热系统的元件采用电加热管。加热元件的布置和功率应保证满足清洗工艺的要求。

5.2.6 控制系统

5.2.6.1 控制系统应配置热电偶（热电阻）、真空计、液位计等检测装置，温度控制器及加热器、真空泵、电磁阀等执行元件，以实现对工作温度、真空度、清洗剂液位等参数的自动控制与安全互锁，并能对设备的工作状态及主要参数进行显示和监控。

5.2.6.2 温度控制器应采用分辨率不低于1℃的数显式控温仪表；真空计的分辨率应不低于0.1kPa，流程时间一般以分钟（min）为设定单位。

5.2.6.3 设备的控制应包含自动和手动两种模式。既能在自动模式下，实现对整个清洗过程的全自动控制，也可通过手动模式，实现对设备的手动控制和故障处理。

5.2.7 油水分离系统

5.2.7.1 油水分离系统是用于将废油和水分离的装置。

5.2.7.2 油水分离系统使与废油分离后的水回流到清洗液槽或漂洗液槽，分离出的含油废液应排到专门的废液桶收集。

5.3 溶剂真空清洗机结构要求

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 溶剂真空清洗机应符合JB/T 10895、GB 5226.1和以下规定。

5.3.1.2 电动机、泵应全部采用安全防爆型规格；检测装置应全部采用防爆结构；自动阀门应全部采用空气驱动阀，而不采用电磁阀，以避免产生电火花，导致安全隐患。

5.3.1.3 溶剂真空清洗机各部位的加热升温应全部采用导热油循环的间接加热方式，以保证溶剂使用安全。

5.3.2 溶剂真空清洗机组成

5.3.2.1 溶剂真空清洗机主要由真空系统、清洗系统、加热系统、控制系统和溶剂再生系统等部分组成，如图3所示。

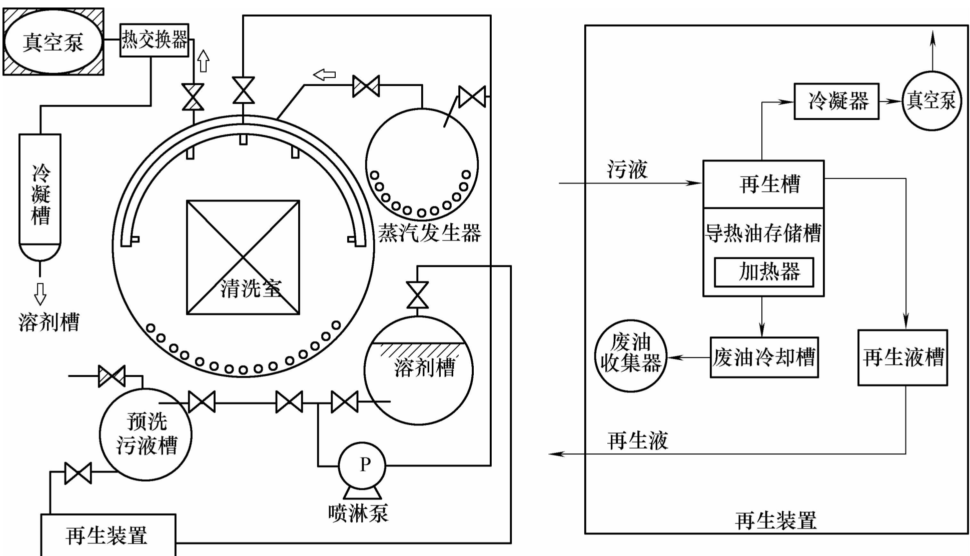


图3 溶剂真空清洗机组成

5.3.2.2　溶剂真空清洗机的清洗流程如图 4 所示。

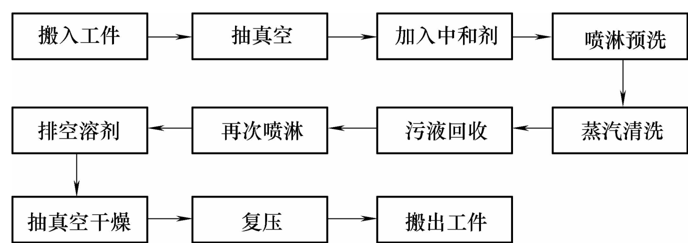


图 4　溶剂真空清洗机的清洗流程

5.3.3　真空系统

5.3.3.1　真空系统包括真空泵、真空检测装置、真空阀门及气体排放管道等，真空系统应满足真空清洗真空度的要求。真空泵吸气口前应配备专门的冷却、冷凝器，以减少溶剂消耗，同时降低真空泵的排气温度。

5.3.3.2　真空装置主要起三方面的作用：

——使清洗室处于无氧状态，从而保证溶剂的安全；

——在不同的清洗流程，设置合适的真空度，以达到较好的清洗效果；

——与氮气复压相配合，通过调整各槽体之间的压力差，形成溶剂转移的动力。

5.3.4　清洗系统

5.3.4.1　清洗室

清洗室的具体要求：

——工件的预洗喷淋、蒸汽清洗、循环喷淋、真空干燥等清洗流程，均在清洗室内进行；

——清洗室本体为真空密封设计，应在清洗室内布置合理的导热油间接加热油道，使清洗室保持稳定的工作温度，槽体应外覆保温材料，以减少热量损失；

——清洗室本体应设置真空排气口、氮气进气口、喷淋入口、蒸汽入口及排液口等各种接口，各接口处应安装真空阀门；

——清洗室内应安装温度、液位和真空检测装置，使清洗室获得合适的温度、真空度及溶剂液位；

——清洗室内应安装喷淋管和喷嘴，喷嘴分布于工件周围，主要用于蒸汽和喷淋清洗。

5.3.4.2　溶剂槽

溶剂槽的具体要求：

——溶剂槽是用于储存有机溶剂、为各清洗流程及附属设备提供所需溶剂的真空密封容器；

——溶剂槽内的溶剂，通过导热油循环间接加热方式进行加热；槽体应外覆保温材料，以减少热量损失；

——溶剂槽本体应采用真空密封设计，应设置真空排气口、氮气进气口及排液口等，各接口处应安装真空阀门，并应设置专门的点检、清扫口，便于对槽内进行检查清理；

——溶剂槽内应安装热电偶（或热电阻）、真空计和液位计等检测装置，使溶剂槽内的溶剂处于合适的温度、真空度及溶剂液位。

5.3.4.3　预洗污液槽

预洗污液槽的具体要求：

——预洗污液槽是用于单独存放预洗喷淋后形成的污液，防止污液污染溶剂槽内溶剂的真空密封容器；

——污液槽本体应采用真空密封设计，应设置真空排气口、氮气进气口及排液口等，各接口处应安装真空阀门，并应设置专门的点检、清扫口；污液槽入口应安装过滤装置。

5.3.4.4 蒸汽发生器

蒸汽发生器的具体要求：

——蒸汽发生器是用于向清洗室提供溶剂蒸汽的装置；

——蒸汽发生器应采用真空双层密封设计，内层为蒸汽室，外层为导热油循环层，外侧覆盖保温层；

——发生器内部应安装导热油加热管，上部设置蒸汽排出口及溶剂导入口，下部设排液口，各接口处都应安装真空阀门。

5.3.4.5 中和剂供给装置

用于自动供给适量中和剂，以中和工件带入的切削液、防锈液等在清洗加热过程中产生的氯离子，防止氯化物腐蚀再生装置和真空泵。

5.3.5 加热系统

5.3.5.1 加热系统主要用于对导热油的加热与保温。

5.3.5.2 加热系统的元件采用电加热管。加热元件安装在导热油存储槽内，加热系统应能实现导热油温度的自动控制，确保导热油的温度恒定。

5.3.6 控制系统

5.3.6.1 测量与控制系统应配置热电偶（热电阻）、真空计、液位计等检测装置，温度控制器、真空度控制仪表，以及加热器、真空泵、电磁阀等执行元件，以实现对工作温度、真空度、溶剂液位等参数的自动控制与安全互锁。测量与控制系统应能对设备的工作状态及生产过程中的主要数据进行显示、监控和记录，并具备设备异常报警与故障排除提示功能。

5.3.6.2 温度控制器应采用分辨率不低于1℃的数显式控温仪表；真空度控制仪表的分辨率应不低于0.1kPa，流程时间单位一般采用秒（s）。

5.3.6.3 设备的控制应包含自动和手动两种模式。既能在自动模式下，实现对整个清洗过程的全自动控制，也可通过手动模式，实现对设备的手动控制和故障处理。

5.3.7 溶剂再生系统

5.3.7.1 溶剂再生真空系统

溶剂再生系统应安装独立的真空装置，用以获得再生所需的真空环境，降低溶剂蒸发和汽化温度。

5.3.7.2 导热油存储槽

导热油存储槽的具体要求：

——用于存储导热油的真空密闭槽体，并通过循环泵为系统各部分提供加热用导热油，槽体外侧覆盖保温层，以减少热量损失；

——导热油存储槽应分为主槽和溢流槽，主槽内导热油液面应保持不变，溢流槽起溢流缓冲的作用。

5.3.7.3 再生槽

再生槽的具体要求：

——用于对预洗污液槽及溶剂槽内的溶剂进行蒸馏再生处理，使溶剂维持清洁状态的装置；

——再生槽下部置于油槽中，通过导热油对再生槽进行间接加热，槽内设置蒸发器、喷雾装置、冷却室。通过设定合适的再生槽真空度及蒸馏温度，使溶剂和污液分馏，并将再生溶剂自动转移到再生液槽、将污液自动转移到废油冷却槽。

5.3.7.4　再生液槽

用于收集分馏后产生的纯净溶剂的真空密封槽体。再生液槽内的溶剂满后，将自动转移至溶剂槽内。

5.3.7.5　废油冷却槽

用于冷却、存放再生槽蒸馏再生处理后排出的废油的装置。废油冷却槽应设置点检、清扫口，便于对槽内油泥等杂物进行清理。

5.4　主要性能参数及要求

水基真空清洗机的主要性能参数及要求应符合表1的规定，溶剂真空清洗机的主要性能参数及要求应符合表2的规定。

表1　水基真空清洗机主要性能参数及要求

性　能	参数及要求	性　能	参数及要求
压缩空气/MPa	0.6~1.0	废油回收率(%)	≥90
给水压力/MPa	0.2~0.3	水	应符合GB/T 19923—2005中3.5的规定
清洗周期/min	≤60		
初始真空度/Pa	$\leq 10\times 10^3$	水基金属清洗剂	应符合JB/T 4323.1的规定
清洗液工作温度/℃	60~80	清洗效果	应满足下道工序对工件表面清洁度的要求或者符合HG/T 2387—2007中5.2.2和5.2.3的规定
漂洗液工作温度/℃	60~80		
压升率/(Pa/h)	≤10		

表2　溶剂真空清洗机主要性能参数及要求

性　能	参数及要求	性　能	参数及要求
压缩空气/MPa	0.6~1.0	再生真空度/Pa	$\leq 2.6\times 10^3$
给水压力/MPa	0.2~0.3	压升率/(Pa/h)	≤5
氮气压力/MPa	≥0.4	溶剂再生率(%)	≥99
清洗周期/min	≤40	再生纯度(%)	≥99
再生能力/(L/h)	≥300	溶剂清洗剂	一般采用环保型第3石油类有机碳氢溶剂作为清洗剂，不得采用三氯乙烯等会对大气臭氧层产生破坏的有机溶剂作为清洗剂
导热油温度/℃	120~140		
清洗室工作温度/℃	90~100		
溶剂温度/℃	90~100		
再生槽温度/℃	≥90	清洗效果	应满足下道工序对工件表面清洁度的要求或者符合HG/T 2387—2007中5.2.2和5.2.3的规定
清洗室初始真空度/Pa	$\leq 6.5\times 10^3$		
清洗液槽初始真空度/Pa	$\leq 6.5\times 10^3$		
干燥真空度/Pa	$\leq 2.6\times 10^3$		

6　设备可靠性要求

6.1　设备故障分类

一类故障——在生产中发生必须停产检修的故障。

二类故障——在生产中发生可在不影响生产的情况下迅速修复的故障。

三类故障——在生产中发生属于电器元件质量、安装不牢固或运行不顺畅等只需稍作紧固或调整即可解决的故障。

注：对易耗品的正常损坏和更换不视为故障。

6.2　设备可靠性指标

6.2.1　1年内不得出现因设备设计制造不当造成的一类故障（不包括因操作维护不当或易损件提前失效等造成的停产故障）。

6.2.2　六个月内不得出现因设备设计制造不当造成的二类故障（不包括因操作维护不当或易损件提前失效等造成的停产故障）。

6.2.3　一个月内三类故障不得出现超过3次。

6.2.4　设备电加热元件的寿命应不低于2年，真空泵的寿命应不低于1年。

7　生产过程安全、卫生要求

7.1　设备的生产装置，安全、卫生防护技术措施，安全、卫生管理措施等应符合GB 5959.1、GB 5959.4、GB 15735和以下补充条文的规定。

7.2　设备所有的相关动作都应设置电气安全联锁装置和相关程序互锁，如工件推拉动作和前门动作互锁等。

7.3　所有电加热系统和可能伤及操作人员的运动部件均应设置可靠的防护罩和明显的警示牌。

7.4　设备应设置固定扶梯，以方便操作及维修人员。

7.5　生产过程中突发停电、停水、停气等突发情况时，设备本身和现场应有相应的安全应急措施，以保证人员、设备和工件的安全。

8　环境保护技术要求

8.1　生产场所的噪声控制应符合GB 12348的规定，作业场所的噪声不得超过85dB。

8.2　设备的所有管路均不得有泄漏现象。

8.3　设备应配有废油、废溶剂回收再生装置，应符合JB 8434的规定。

8.4　设备应尽量采用节能、环保的材料。

第十一节　热处理电热设备

一、概论

当前，在国内外热处理加热设备中，电热设备由于制造、使用、维护方便，可靠耐用，经济，清洁、对环境没有污染等优点，因而应用仍很广泛。涉及热处理的电热设备主要有电阻炉（间歇式或连续式）、浴炉（内热或外热）、真空炉、等离子炉、感应加热装置（工频、中频、超音频、高频）、激光和电子束表面热处理装置等。从热处理角度来看，这些设备必须首先满足工艺要求，还应使用维护方便、可靠耐用、安全、经济、节约能源、消除或减少对环境的污染。

二、标准应用说明

本节列举了27项电热设备（装置）国家标准或机械标准：电热装置的基本技术条件、电热设备的试验方法、电热装置的安全及热处理常用间接电阻炉各种炉型的具体要求等。

（1）电热装置的基本技术条件。包括通用条件、感应电热装置、间接电阻炉等。

GB/T 10067.1规定了对各类电热设备的通用技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存以及订购和供货等。适用于电阻炉、感应加热装置、设有电子枪的电热装置、等离子电热装置、激光电热装置等。

GB/T 10067.3规定了对感应加热设备的通用技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、

运输、贮存以及订购和供货条件等。适用于真空和非真空工业用工频、中频和高频感应加热设备。

GB/T 10067.4 规定了各类间接电阻炉的通用技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存以及订购和供货等。适用于各种炉内气氛、额定温度在 100～2200℃范围内的各类实验及工业用电阻炉，如热处理用间歇式和连续式电阻炉、电热浴炉等。

（2）电热设备的试验方法。包括通用部分及间接电阻炉等。

GB/T 10066.1 规定了所有工业电热设备（如中、高频感应加热装置，直接和间接电阻加热装置，设有电子枪的电热装置，等离子电热装置，工业用激光装置）的试验条件、测量和通用试验方法、安全和性能方面的技术要求，应服从其他对工业电热装置特殊安全和性能标准的规定。

GB/T 10066.4 规定了温度自动控制系统、炉内自然气氛、中性保护气氛、可控气氛或真空、额定温度在 250～1800℃范围内的各类实验用和工业用电阻炉（如井式炉、箱式炉、台车式炉、罩式炉或其他结构形式电阻炉）等，主要是加热和热处理用间歇式和连续式电阻炉。这些电阻炉可以是强迫气氛循环或非强迫气氛循环。

（3）电热装置的安全。GB/T 5959.1 规定了工业电热装置（包括电压高达交流 3600V 或直流 5000V 的电热设备）的操作、维护及人身安全的通用要求。

（4）热处理常用间接电阻炉各种炉型的具体要求。其中包括 RT 系列台车式炉（JB/T 8195.5）、RJ 系列自然对流井式电阻炉（JB/T 4311.5）、SX 系列实验用箱式炉（JB/T 8195.7）、SK 系列实验用管式炉（JB/T 8195.8）、SG 系列实验用坩埚式炉（JB/T 8195.9）、RF 系列强迫对流井式炉（JB/T 8195.10）、RB 系列罩式炉（JB/T 8195.11）、RY 系列电热浴炉（JB/T 8195.12）、RCW 系列网带式电阻炉（JB/T 6206）、RX 系列箱式电阻炉（JB/T 8195.1）、RM 系列箱式淬火炉（JB/T 8195.2）、ZR 系列真空热处理和钎焊炉（JB/T 8195.3）、ZC 系列真空淬火炉（JB/T 8195.4）等标准。这些标准规定了对上述电阻炉产品的各项要求，如品种规格、技术性能及其订购和供货条件等。

三、热处理电热设备相关标准

1）GB 5959.1—2005《电热装置的安全　第 1 部分：通用要求》。

2）GB 5959.3—2008《电热装置的安全　第 3 部分：对感应和导电加热装置以及感应熔炼装置的特殊要求》。

3）GB 5959.4—2008《电热装置的安全　第 4 部分：对电阻加热装置的特殊要求》。

4）GB 5959.5—1991《电热设备的安全　第 5 部分：等离子设备的安全规程》。

5）GB 5959.7—2008《电热装置的安全　第 7 部分：对具有电子枪的装置的特殊要求》。

6）GB 5959.9—2008《电热装置的安全　第 9 部分：对高频介质加热装置的特殊要求》。

7）GB/T 10066.1—2004《电热设备的试验方法　第 1 部分：通用部分》。

8）GB/T 10066.4—2004《电热设备的试验方法　第 4 部分：间接电阻炉》。

9）GB/T 10066.6—2008《电热装置的试验方法　第 6 部分：工业微波加热装置输出功率的测定方法》。

10）GB/T 10066.7—2009《电热装置的试验方法　第 7 部分：具有电子枪的电热装置》。

11）GB/T 10066.9—2008《电热装置的试验方法　第 9 部分：高频介质加热装置输出功率的测定》。

12）GB/T 10067.1—2005《电热装置基本技术条件　第 1 部分：通用部分》。

13）GB/T 10067.3—2005《电热装置基本技术条件　第 3 部分：感应电热装置》。

14）GB/T 10067.4—2005《电热装置基本技术条件　第 4 部分：间接电阻炉》。

15）GB/T 10067.5—1993《电热设备基本技术条件　第5部分：高频介质加热设备》。

16）JB/T 4311.5—2002《间接电阻炉　RJ系列自然对流井式电阻炉》。

17）JB 6206—1993《间接电阻炉　RCW系列网带式电阻炉》。

18）JB/T 8195.1—1999《间接电阻炉　RX系列箱式电阻炉》。

19）JB/T 8195.2—1999《间接电阻炉　RM系列箱式淬火炉》。

20）JB/T 8195.3—1999《间接电阻炉　ZR系列真空热处理和钎焊炉》。

21）JB/T 8195.4—1999《间接电阻炉　ZC系列真空淬火炉》。

22）JB/T 8195.7—2007《间接电阻炉　第7部分：SX系列实验用箱式炉》。

23）JB/T 8195.8—2007《间接电阻炉　第8部分：SK系列实验用管式炉》。

24）JB/T 8195.9—2007《间接电阻炉　第9部分：SG系列实验用坩埚式炉》。

25）JB/T 8195.10—2007《间接电阻炉　第10部分：RF系列强迫对流井式炉》。

26）JB/T 8195.11—2007《间接电阻炉　第11部分：RB系列罩式炉》。

27）JB/T 8195.12—2007《间接电阻炉　第12部分：RY系列电热浴炉》。（北京电子科技职业学院支道光供稿）。

第四章　热处理质量控制与检验标准

第一节　热处理质量控制体系

一、概论

1. 制定本标准目的和必要性

热处理是机械制造技术的重要组成部分，是强化金属材料，发挥其潜在能力的重要工艺手段，是保证和提高产品质量与可靠性，延长其使用寿命的关键技术，是制造业竞争力的核心要素。国际工业界公认制造业的先进性很大程度上取决于热处理的水平。

热处理也是特殊的工艺过程。热处理特点之一是属于“内科”，热处理质量一般通过使用专门仪器对零件或随炉试样进行检测控制，由于受热处理材料特性的差异性、工艺参数的复杂性和过程控制的不确定性，以及检测取样部位和抽检率的影响，同时受产品检测的滞后性和对产品的破坏性检测形成的损失较大等限制，对于每一批次热处理零件，甚至对每一零件，检测都只是个别的、局部的，无论如何都不能达到对热处理产品质量100%的直接检测和判定，检测不能完全直接和及时控制反映整批零件或整个零件的热处理质量满足程度，导致长期以来热处理成为机械制造工程的一个薄弱环节；其次是热处理质量风险大，热处理生产成炉批量投入，连续生产，一旦出现热处理质量问题，对生产交付和产品性能的影响很大；而且热处理对象大部分是经过加工的半成品件或成品件，如果出现热处理质量问题，造成的损失都很大；更重要的是热处理缺陷未检出和未得到有效控制，很容易在零部件后期服役过程中发生严重的失效事故，造成更大的损失。因此，从质量控制角度，热处理作为特殊工艺过程必须采取特殊措施，实施全面质量控制，建立专门的质量控制体系和制定完整的过程控制规范。

热处理质量控制体系是对零件热处理过程中一切影响因素进行识别和实施全面控制，改变过去传统的单纯靠最终检验被动把关来保证质量的模式，实行以预防为主，预防与检验相结合的主动质量控制体系，把重点转移到质量形成过程的控制上来，把热处理质量缺陷消灭在质量形成过程中，强调缺陷预防、减少变差、作业规范和可控、持续改进。

鉴于各行各业对金属零部件的热处理质量要求越来越高，尤其汽车产业，作为全球的重要产业备受世界各国的关注。为全面提升产品质量，国外企业在ISO 9001质量管理体系的基础上，从2002年起，欧美日主要汽车厂商联合制定了汽车行业质量管理体系标准（ISO/TS 16949），并开始在全球推行；北美三大汽车公司在其顾客特殊要求中明确提出了热处理过程控制要求；美国汽车工业行动集团AIAG的特别工作小组（热处理工作组）于2006年3月发布了热处理系统评审HTSA CQI-9要求，该要求结合了国际公认的质量管理体系和相应的顾客特殊要求，定义了热处理管理系统的基本要求，旨在为汽车相关产品和服务组织提供系统评审的通用方法，以实现持续改进、缺陷预防、降低供应链的质量变差和浪费。为提升产品质量，我国各企业也逐步实施了ISO 9001等质量管理体系建设，大量汽车零部件企业陆续进行了TS 16949等质量体系认证，以此作为与国际汽车制造企业质量对接的必要条件。

JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》从人员、作业环境、设备及仪器、工艺材料、工

艺、文件与资料八个方面提出了一些具体的要求。面对越来越高的顾客要求和热处理全过程的质量控制要求，该标准已不能系统的推进热处理全面质量管理，编制《热处理质量控制体系》这类重要的基础性标准，完善我国热处理标准体系，控制和减少产品热处理质量损失和质量风险，提升各企业质量控制水平，以高水平标准促进我国热处理行业的迅速发展，非常必要，也很迫切。

2. 国内外情况说明

在热处理质量控制要求方面，国内外有不少的标准和规范，国外大都采用的是 ISO/TS 16949：2009《汽车行业生产件与相关服务件的组织实施 ISO 9001：2008 的特殊要求》和 CQI-9《热处理系统评审》。国外的这两个规范对热处理质量提出了具体的控制要求，涉及热处理过程的各个环节，得到机械制造和热处理行业广泛的认可和应用。目前，欧美日等主要发达国家和我国许多企业，都逐渐采用这两个标准来要求和衡量各组织的热处理质量控制水平，也逐步成为国外企业在国内进行热处理加工的门槛。

TS 16949 的内容是在 ISO 9001 的基础上针对汽车行业提出了系统的要求，包括对组织的管理方针、组织机构、资源管理、质量策划、产品实现等方面提出具体要求，对热处理设备、工艺材料、工艺、具体的热处理过程细节未做出具体规定。CQI-9《热处理系统评审》是在 TS 16949 的基础上，针对管理职责和质量策划、生产车间和物料管理、设备、热电偶、温度系统准确度测试和温度均匀性测试、热处理过程监视频率等内容提出具体要求。CQI-9《热处理系统评审》的内容主要分为三部分：①热处理系统评审；②作业审核表；③过程评审表。其中热处理系统评审中包括管理职责和质量策划、生产车间和物料管理的职责、设备三个部分。

而我国的 JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》，仅从人员、作业环境、设备及仪器、工艺材料、工艺、文件与资料八个方面提出一些具体的要求，还是按照传统的“人、机、料、法、环”等章节进行编制，其所规定的要求和范围与国外这两个规范的要求相比差距较大，也缺乏系统的规定。

为了促进我国机械装备制造业和热处理行业的发展，实现与国际接轨，也必须要有更高、更全面的热处理质量控制标准。

本标准从覆盖 CQI-9 热处理系统评审内容的基础上进行了更详细的分类和补充，以建立 GB/T 19001 质量管理体系或其等效体系为基础，突出产品质量策划和实施持续改进为必要条件；细化对热处理从业人员责任、技能和培训的要求；细化对物料的初始和输入验证及具体控制要求，并从保护顾客财产角度，将料箱（料筐）纳入物料范围，补充了可疑品、异常品的控制要求；增加加热设备的分类及类别及冷却设备、辅助设备、感应热处理设备、监视测量设备的要求，补充设备控制的具体要求和指导方法；增加并具体规定了对工艺材料的要求；补充工艺与过程控制的具体要求和方法；增加了对作业场所与安全卫生的要求；形成了本标准中的产品质量策划和持续改进、人员、物料、设备、工艺材料、工艺与过程控制、作业场所与安全卫生七大部分。具体的比较内容见表 4. 1-1。从表 4. 1-1 的对比说明可看出：《热处理质量控制体系》与 CQI-9 相比覆盖面更广，内容更全面、更系统，更具体。可作为组织建立、实施热处理过程控制，并满足 CQI-9 评审的标准化文件。

作为系统的热处理质量控制标准，与 JB/T 10175—2008 相比，本标准考虑了相关管理体系的质量管理原则，在 GB/T 19001 质量管理体系标准或其等效标准要求的基础上，针对热处理生产和质量控制的特点，采用过程方法和系统方法，增强顾客满意度，提升热处理质量控制水平，综合国内外的相关技术数据和要求，而制定的热处理质量控制体系。强调了质量体系建设和质量策划和持续改进，并制定具体细则；对人员的要求和管理方面，要求明确热处理从业人员的配备、热处理责任人的设立和任职条件，热处理人员的责任、技能及培训的具体事项；物料的管理作为顾客财产和批次管理、防止异常产品、不合格产品、不同批次产品混料及影响可追溯性的重要因素，在 JB/T

10175—2008《热处理质量控制要求》中并没有相应条款提及，在本标准中，给予了充分重视，对物料从进厂到出厂的全流程，以及料箱、不合格品的控制等都有了详细的规定；对热处理设备的总体要求、有效加热区炉温均匀性测量、温度系统准确度测量、温度传感器、控制仪表、补偿导线等提出具体要求和指导方法，对冷却设备、辅助设备、感应热处理设备、监视测量设备提出具体要求；对工艺材料补充了具体的要求；补充了工艺及过程控制的具体要求，并提出监视测量的频率，并对典型工艺提出指导方法；最后对作业场所和相关安全卫生提出要求和指导方法。具体的比较见表 4. 1-2。从表 4. 1-2 比较情况看，《热处理质量控制体系》标准可替代 JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》，作为组织实施热处理全面质量控制的指导性文件和评审组织热处理质量控制体系完善性和运行可靠性、有效性的标准化文件。

表 4. 1-1　《热处理质量控制体系》与 CQI-9《热处理系统评审》的对比说明

对比项	《热处理质量控制体系》	CQI-9《热处理系统评审》第 3 版	内容比较说明
范围	规定了组织建立和实施热处理质量策划和持续改进、人员、物料、设备、工艺材料、工艺与过程控制、作业场所与安全卫生等全面质量控制的要求。适用于组织建立热处理质量控制体系、热处理文件编制、热处理设备仪器仪表管理、生产过程质量控制、技术改造和规划设计等，也适用于对组织热处理质量控制体系的评审	为组织及其热处理供方提供了热处理特殊过程的要求，规定的所有热处理系统评审要求是通用的，旨在适用于各种类型、不同规模和提供不同产品的热处理组织	《热处理质量控制体系》满足组织热处理体系的评审要求和建立全面质量控制的指导性要求
质量管理体系要求	组织必须通过 GB/T 19001 质量管理体系或顾客指定的或等效的质量管理体系的认证，并在合格有效期内。组织需确保制定的体系要求得到有效实施和持续改进	提出评审应按 ISO/TS 16949 规定的过程方法进行。其评审文件和过程是针对汽车行业最通用的热处理过程而编写的	《热处理质量控制体系》质量管理体系的要求包含了 ISO/TS 16949 体系。适合于不同行业热处理过程的质量控制
质量策划	规定了建立质量策划小组、顾客要求与相关的热处理标准和规范、质量先期策划（APQP）、生产过程能力的有效性研究、更改控制、过程失效模式及后果分析（PFMEA）、控制计划、程序文件或作业指导书、过程规范等具体要求	在管理职责和质量策划中提出质量先期策划、PFMEA、控制计划、过程规范、生产过程能力、程序文件或作业指导书的要求	《热处理质量控制体系》重点提出建立质量策划的具体要求
持续改进	规定全过程数据分析、内部审核、管理评审、热处理监控系统的检查、优先改进计划的具体要求	在管理职责和质量策划中提出数据分析、热处理监控系统的检查、内部评审、重大事项评审、持续改进计划的要求	《热处理质量控制体系》重点提出建立持续改进的具体要求
人员	规定了热处理从业人员的配备、培训、资格、人员职责矩阵、技能矩阵、热处理责任人岗位资格的要求	在管理职责和质量策划中提出现场配备热处理责任人、持续培训、关键岗位责任矩阵的要求	《热处理质量控制体系》对人员提出更全面、具体的管理要求
物料	规定了物料的定义，物料输入和验证、物料的标识和可追溯性管理、可疑品、异常品和不合格品的控制，对隔离物料的处置，返工件的处理，料箱中零件的控制，零件产品搬运、贮存、包装、运输	在管理职责和质量策划中提出返工件的处理、隔离材料的处理的要求；在生产车间和物料处理的职责中提出物料输入接收系统的数据验收、产品和生产状态的标识、批次追溯性、不合格产品流入、死角区识别、不适合物料影响等要求	《热处理质量控制体系》全面提出建立物料管理、保护顾客财产的具体要求

（续）

对比项	《热处理质量控制体系》	CQI-9《热处理系统评审》第3版	内容比较说明
设备	规定了设备通用要求、加热设备的分类和技术要求、温度均匀性测量、不同工艺炉温均匀性的最大允许误差、温度系统准确度校验、温度传感器、控制仪表、补偿导线、冷却设备、淬火冷却系统组成、淬火冷却系统的监视、记录和控制、辅助设备、清洗和清理设备、气氛制备与控制系统、感应热处理设备、监视和测量设备等具体要求和实施办法	在管理职责和质量策划中提出设备预防预见性维护、关键零部件清单，在设备中提出过程控制装置及其校准和检定、热电偶的应用和校准及再利用、仪器使用、系统准确度测试、温度均匀性测试等内容和要求	《热处理质量控制体系》规定了更系统和最新的技术要求及方法，指导性更强
工艺材料	规定了工艺材料种类、工艺材料通用要求、马氏体分级淬火介质、贝氏体等温淬火介质、残余亚硝酸盐的无害化处理等具体要求	在第三节设备中提出奥氏体化盐浴的化学性能监控要求	《热处理质量控制体系》规定了制定工艺材料质量控制要求、使用、贮存、监视、用途的作业指导书，供应商名录和供应商评定管理作业指导书。确定最低贮存量以保证生产不被中断等更详细的要求
工艺与过程控制	规定从对产品热处理前化学成分、金相、晶粒度等初始状态的验证开始，对工艺路线的设计，作业文件的编制、发放、培训，工装夹具的管理，温度，气氛，冷却方式和能力，冷却介质的管理，产品装载管理，淬火与回火间的最大延迟时间，产品处理周期，清洗，回火，检测，表面清理，防锈等，对过程数据收集分析等关键要素规定了具体要求，并提供了具体工艺的实施方法。感应热处理的具体控制要求。典型设备和工艺过程监视测量频次表、产品检测监视内容、频次和检测标准表	在管理职责和质量策划中提出不同钢厂材料预防一起处理的要求，在生产车间和物料处理的职责中提出装载规定、环境等工作条件、淬火系统和防锈的监视、过程参数监控、产品验证、污染物影响等要求，在设备中提出气氛监视、温度均性测量、热电偶检查、控制温度与设定温度的检查、报警装置的测试、气氛验证系统、气氛流量控制、气氛转换、淬火冷却介质分析及感应热处理等要求提出作业审核表和过程表的要求	《热处理质量控制体系》根据热处理过程的特点详细规定了每一过程的具体要求和参考办法，覆盖了CQI-9《热处理系统评审》的要求，更具备指导意义
作业场所与安全卫生	规定了作业场所的噪声、有害物质、安全与卫生、化学危险品分类和贮存等具体的实施要求	无	《热处理质量控制体系》有明确规定

表4.1-2 《热处理质量控制体系》与JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》的对比说明

对比项	《热处理质量控制体系》	JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》	内容比较说明
范围	规定了组织建立和实施热处理质量策划和持续改进、人员、物料、设备、工艺材料、工艺与过程控制、作业场所与安全卫生等全面质量控制的要求。适用于组织建立热处理质量控制体系、热处理文件编制、热处理设备仪器仪表管理、生产过程质量控制、技术改造和规划设计等，也适用于对组织热处理质量控制体系的评审	规定了热处理人员、作业环境、设备及仪表、工艺材料、工艺、技术文件与资料管理等质量控制的基本要求；适用于热处理文件的编制，生产过程质量控制、技术改造和规划设计	《热处理质量控制体系》范围、适用性更强

（续）

对比项	《热处理质量控制体系》	JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》	内容比较说明
质量管理体系要求	组织必须通过 GB/T 19001 质量管理体系或顾客指定的或等效的质量管理体系的认证，并在合格有效期内。组织需确保制定的体系要求得到有效实施和持续改进	无	《热处理质量控制体系》明确提出建立质量管理体系的要求
质量策划	规定了建立质量策划小组、顾客要求与相关的热处理标准和规范、质量先期策划（APQP）、生产过程能力的有效性研究、更改控制、过程失效模式及后果分析（PFMEA）、控制计划、程序文件或作业指导书、过程规范等具体要求	无	《热处理质量控制体系》明确提出建立质量策划等具体要求
持续改进	规定全过程数据分析、内部审核、管理评审、热处理监控系统的检查、优先改进计划的具体要求	无	《热处理质量控制体系》明确提出建立持续改进的要求
人员	规定了热处理从业人员的配备、培训、资格、人员职责矩阵、技能矩阵、热处理责任人岗位资格的要求	要求具备一定专业水平、一定实践经验；持证上岗	《热处理质量控制体系》对人员要求更明确、全面
物料	规定了物料的定义，物料输入和验证、物料的标识和可追溯性管理、可疑品、异常品和不合格品的管理，对隔离物料的处置，返工件的处理，料箱中零件的处理，零件搬运、贮存、包装、运输	无	《热处理质量控制体系》明确提出建立物料管理、保护顾客财产的具体要求
设备	规定了设备通用要求、加热设备的分类和技术要求、温度均匀性测量、不同工艺炉温均匀性的最大允许误差差、温度系统准确度校验、温度传感器、控制仪表、补偿导线、冷却设备、淬火冷却系统组成、淬火冷却系统的监视、记录和控制、辅助设备、清洗和清理设备、气氛制备与控制系统、感应热处理设备、监视和测量设备等具体要求和实施办法	规定加热炉分类及技术要求、加热炉有效加热区检测周期及仪表检定周期、系统校验允许温度偏差、渗碳炉有效加热区深度极限偏差值要求、固溶加热的最大回复时间、淬火槽、清洗和清理设备、仪表、检测设备和器具、现场常用热电偶技术要求等内容	《热处理质量控制体系》规定了更系统和最新的技术要求及方法，指导性更强
工艺材料	规定了工艺材料种类、工艺材料通用要求、马氏体分级淬火介质、贝氏体等温淬火介质、残余亚硝酸盐的无害化处理等具体要求	规定常用工艺材料技术要求及推荐的复验项目、生产厂家质量保证单和合格单的要求	《热处理质量控制体系》规定了制定工艺材料质量控制要求、使用、贮存、监视、用途的作业指导书，供应商名录和供应商评定管理作业指导书。确定最低贮存量以保证生产不被中断等更详细的要求

（续）

对比项	《热处理质量控制体系》	JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》	内容比较说明
工艺与过程控制	规定从对产品热处理前化学成分、金相、晶粒度等初始状态的验证开始，对工艺路线的设计，作业文件的编制、发放、培训，工装夹具的管理，温度，气氛，冷却方式和能力，冷却介质的管理，产品装载管理，淬火与回火间的最大延迟时间，产品处理周期，清洗，回火，检测，表面清理，防锈，过程数据收集分析等关键要素规定了具体要求，并提供了具体工艺的实施方法。感应热处理的具体控制要求。典型设备和工艺过程监视测量频次、产品检测监视内容、频次和检测标准	制定了工艺的基本要求	《热处理质量控制体系》根据热处理过程的特点详细规定了每一过程的要求和参考办法，更具备指导意义
文件控制	GB/T 19001—2008 中有明确的文件和记录控制要求，在本标准中未重点说明	制定了热处理工艺文件的参数选用、编制、审批、更改、归档等要求	GB/T 19001—2008 有更系统的要求，《热处理质量控制体系》要求以 GB/T 19001—2008/ISO 9001：2008 为基础
作业场所与安全卫生	规定了作业场所的噪声、有害物质、安全与卫生、化学危险品分类和贮存等具体的事实要求	规定作业环境应符合 GB 15735 的要求	《热处理质量控制体系》规定得更明确全面

3. 附加说明

由于本标准对热处理质量控制提出更详细的、更系统、更高水平的要求，可全面提高我国热处理行业的装备制造和加工服务水平，促进国内组织的热处理管理水平，提升构件的使用寿命，增强我国机械制造业的核心竞争力。本标准发布实施之日起废除标准 JB/T 10175—2008。

二、标准应用说明

1. 主要内容

《热处理质量控制体系》在 GB/T 19001 质量管理体系标准或其等效标准要求的基础上，考虑了相关管理体系的质量管理原则，针对热处理生产和质量控制的特点，强调缺陷预防、减少变差、作业规范和可控、持续改进，重点从质量的策划和持续改进、人员、物料、设备、工艺材料、工艺与过程控制、作业场所与安全卫生等热处理环节系统加以规定和要求。

2. 适用范围

本标准是对零件热处理质量控制要求的完善，是理解和说明有关质量控制体系在热处理过程应用的指南。本标准为组织建立热处理管理体系提供一个通用的方法，可作为组织建立热处理质量控制体系、实施全面质量控制、加强过程运行和管理的指导性文件，又可作为顾客评审组织热处理质量控制的依据，也可作为对组织进行热处理质量体系认证的标准化文件。

3. 术语和定义

为了更好地理解《热处理质量控制体系》的相关内容，本标准除采用了 GB/T 7232、GB/T 8121、GB/T 13324、GB/T 19000 中的术语和定义外，同时还给出了组织、热处理炉监控系统、控

制计划、责任矩阵表、工艺流程卡、特殊特性、过程表、能量监视器、最大调整量、作业指导书、质量先期策划、过程失效模式及后果分析、有效加热区、系统准确定检验、温度均匀性测量、过程能力 16 条术语、定义及英文词条。

4. 质量策划和持续改进

标准中明确了总的要求，也就是组织必须通过 GB/T 19001 质量管理体系或顾客指定的质量管理体系的认证，并在合格有效期内。组织应确保制定的体系要求得到有效实施和持续改进。

在标准的“4.2 质量策划”一节中，明确了“建立质量策划小组、顾客要求和相关热处理标准、规范的管理、质量先期策划（APQP）、生产过程能力的有效性研究、更改控制、过程失效模式及后果分析（PFMEA）、控制计划、程序文件或作业指导书、过程规范”，并给出了具体要求。

本标准在持续改进方面，提出“组织应建立热处理过程中能提供缺陷预防和提升质量的数据分析系统。确定需要列入分析范围的数据，包括产品和重要过程参数的现行趋势或历史数据”等内容。

5. 人员

本标准在人员素质要求方面，规定了组织应配备独立上岗能力和资格的热处理责任人、生产操作者、设备维护人员、质量控制人员等从业人员。强调的是经过培训、考试合格、持证上岗，这一点是与 GB/T 19000 质量体系认证的要求是一致的。因为热处理生产过程和质量活动都是由有关的各方面人员来完成的，热处理人员的素质和水平对热处理质量影响极大，所以对人员素质应高度重视。

6. 物料

本标准的物料指顾客委托热处理加工的零件和料箱（或料筐等盛具）。同时对“物料输入和验证，物料的标识和可追溯性管理，可疑品、异常品和不合格品的管理，隔离物料的管理，返工件的处理，料箱中零件的控制，零件搬运、贮存、包装、运输”做了具体规定。

7. 设备

本标准首先明确了热处理设备的通用要求。

1）本标准突出强调的是对设备与控温仪表、温度传感器、补偿导线方面的规定要求，加热设备的炉温均匀性是热处理质量保证的基本条件，热电偶和仪表的合理配置是热处理加热和冷却过程真实反映必须的条件。本标准明确要求控制仪表应符合 GB/T 30825 规定的技术条件，热电偶补偿导线应符合 GB/T 4989、GB/T 4990，GB/T 30825 等相关标准规定的技术条件。

2）本标准中明确淬火冷却系统组成为：淬火冷却槽或淬火机床、移动淬火工件的装置、搅动装置、冷却器、泵、排水器或过滤器、供给淬火剂的集液槽、通用设备、安全防火设施和除去槽中炭黑、氧化皮、污物的装置等。本标准还对淬火冷却系统的监视、记录和控制做了规定，并明确折光仪、黏度仪、冷却特性测定仪等仪器应根据相关标准或组织内部规定进行每年至少一次的检定。

3）本标准将辅助设备分为：清洗和清理设备、气氛制备与控制系统。明确清洗设备应有明显的标识，应对气氛发生器和炉内气氛的温度、碳势、氮势等参数配置连续监视、自动控制及形成记录的系统装置，对气氛组分的流量、压力等配置监视、测量和报警的装置，建立对应的管理文件，控制其在公差要求范围内，并记录保存。

8. 工艺材料

本标准对热处理工艺材料提出了检验和控制的要求。工艺材料应符合机械行业标准或国家标准相应的技术要求，使用时不能对热处理工装、仪器设备、零件、环境、操作人员、产品产生有害影响。

9. 工艺及质量控制

本标准提出的工艺控制要求是机械行业热处理工艺标准的概括和总则，也是对其的补充和完

善。特别强调的是，要根据热处理工件的重要程度、材料、技术要求和工艺等，合理地选择加热设备的类型和级别，这是热处理工艺能否准确实施的重要条件。（江苏丰东热技术股份有限公司向建华供稿）

三、标准内容（GB/T 待批）

热处理质量控制体系

1　范围

本标准规定了组织建立和实施热处理质量控制体系的要求以及对质量策划和持续改进、人员、物料、设备、工艺材料、工艺与过程控制、作业场所与安全卫生等全面质量控制的要求。

本标准适用于组织建立热处理质量控制体系、编制热处理文件、管理热处理设备仪器仪表、控制生产过程质量、实施技术改造和规划设计等，也适用于评审组织的热处理质量控制体系。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 224　钢的脱碳层测定方法

GB/T 230.1　金属材料　洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（ABCDEFGHKNT标尺）

GB/T 231.1　金属材料　布氏硬度试验　第1部分：试验方法

GB/T 265　石油产品运动黏度测定法和动力黏度计算法

GB/T 268　石油产品残炭测定法（康氏法）

GB 338　工业甲醇

GB 536　液体无水氨

GB/T 3536　石油产品闪点和燃点测定法（克里夫开口杯法）

GB/T 4340.1　金属材料　维氏硬度试验　第1部分：试验方法

GB/T 4989　热电偶用补偿导线

GB/T 4990　热电偶用补偿导线合金丝

GB/T 5617　钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定

GB 5959.3　电热装置的安全　第3部分：对感应和导电加热装置以及感应熔炼装置的特殊要求

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定方法

GB/T 7232　金属热处理工艺　术语

GB/T 8121　热处理工艺材料　术语

GB/T 8979　纯氮、高纯氮和超高纯氮

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核

GB/T 9451　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1　电热设备的试验方法　第1部分：通用部分

GB/T 10066.4　电热设备的试验方法　第4部分：间接电阻炉

GB/T 10066.31　电热装置的试验方法　第31部分：高频感应加热装置发生器输出功率的测定

GB/T 10067.1　电热装置基本技术条件　第1部分：通用部分

GB/T 10067.3　电热装置基本技术条件　第3部分：感应电热装置

GB/T 10067.4　电热装置基本技术条件　第 4 部分：间接电阻炉
GB/T 10067.41　电热装置的试验方法　第 41 部分：网带式电阻加热机组
GB/T 10067.42　电热装置的试验方法　第 42 部分：推送式电阻加热机组
GB/T 10067.43　电热装置的试验方法　第 43 部分：强迫对流井式电阻炉
GB/T 10067.44　电热装置的试验方法　第 44 部分：箱式电阻炉
GB/T 10067.45　电热装置的试验方法　第 45 部分：真空淬火炉
GB/T 10561　钢中非金属夹杂物含量的测定—标准评级图显微检验法
GB/T 11133　液体石油产品水含量测定法（卡尔・费休法）
GB/T 11354　钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验
GB/T 13298　金相显微组织检验方法
GB/T 13299　钢的显微组织评定方法
GB/T 13324　热处理设备术语
GB 13690　化学品分类和危险性公示　通则
GB 15603　常用化学危险品贮存通则
GB 15735　金属热处理生产过程安全、卫生要求
GB/T 16923　钢件的正火与退火
GB/T 16924　钢件的淬火与回火
GB/T 17394.1　金属材料　里氏硬度试验　第 1 部分：试验方法
GB/T 18177　钢件的气体渗氮
GB/T 18404　铠装热电偶电缆及铠装热电偶
GB/T 19000　质量管理体系　基础和术语
GB/T 19001　质量管理体系
GB/T 22560　钢件的气体氮碳共渗
GB/T 22561　真空热处理
GB/T 25744　钢件渗碳淬火回火金相检验
GB/T 25745　铸造铝合金热处理
GB/T 27946　热处理工作场所空气中有害物质的限值
GB/T 30822　热处理环境保护技术要求
GB/T 30823　测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头实验方法
GB/T 30825　热处理温度测量
GB/T 50087　工业企业噪声控制设计规范
JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火
JB/T 4392　聚合物水溶性淬火介质测定方法
JB/T 4393　聚乙烯醇合成淬火剂
JB/T 5069　钢铁零件　渗金属层金相检验方法
JB/T 6050　钢铁热处理零件硬度检验通则
JB/T 6955　热处理常用淬火介质　技术要求
JB/T 6956　钢铁件的离子渗氮
JB/T 7530　热处理用氩气、氮气、氢气　一般技术条件
JB/T 7710　薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件　显微组织检测
JB/T 9201　钢铁件的感应淬火回火处理

JB/T 9202　热处理用盐
JB/T 9204　钢件感应淬火金相检验
JB/T 9205　珠光体球墨铸铁零件感应淬火金相检验
JB/T 9209　化学热处理渗剂　技术条件
JB/T 10312　钢箔测定碳势法
JB/T 10457　液态淬火冷却设备技术条件
SH 0553　工业丙烷、丁烷

3　定义和术语

GB/T 7232、GB/T 8121、GB/T 13324、GB/T 19000 中界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　组织　organization

组织是指由诸多要素按照一定方式相互联系起来，按一定宗旨和目标建立的系统或团体。本标准中是指提供热处理加工服务的内部组织或独立的商业化组织。

3.2　热处理炉监控系统　furnace monitoring system

监控热处理炉运行状况的系统。

3.3　控制计划　control plan

对控制产品所要求的系统和过程的形成文件的描述。由组织内部编制以阐述产品重要特性及工程要求。

3.4　责任矩阵表　responsibility matrix

针对热处理关键职能指定责任人以对应相关责任的详细描述，包括主要和次要责任人。

3.5　工艺流程卡　shop travelers

由组织针对每批加工零件的状况编制发放的、定义该零件所流经的工艺路线和过程的记录。

3.6　特殊特性　special characteristic

可能影响产品安全性或法规符合性、配合、功能、性能或其后续过程的产品特性或制造过程的参数。

3.7　过程表　process table

热处理质量控制中的表格，列出了热处理过程所要求的过程控制，并包含了最低（最小限度）要求。

3.8　能量监视器　energy monitor

测量并显示传送到感应加热器的实际能量（单位为千瓦·秒，kW·s）的电子监视器。

3.9　最大调整量　maximum adjustment

如果所校验的温度控制系统已超过允许偏差而又要进行修正时，可以使温度控制系统的温度读数与已校准测试仪表系统温度读数保持一致的最大允许调整值。

3.10　作业指导书　operation instruction

描述热处理过程所涉及的作业内容、作业方法、作业要求等规定的文件，如装料、检验、热处理操作等。

3.11　质量先期策划　advanced product quality planning（APQP）

用来确定和制定确保热处理加工使顾客满意所需步骤的结构化方法。目标是促进与所涉及每一个人的联系，以确保所要求的步骤按时完成。

3.12　过程失效模式及后果分析　process failure modes and effects analysis（PFMEA）

由质量策划小组为确保质量采用的分析技术，用以最大限度地保证热处理过程中各种潜在的失

效模式及其相关的起因、机理已得到充分的考虑和论述。

3.13　有效加热区　work zone

在热处理炉中，经温度测量而确定的满足热处理工艺规定温度及温度均匀性的工作空间。

3.14　系统准确度校验　system accuracy test（SAT）

热处理设备的温度控制系统经合理补偿后的温度与经过校准和偏差修正的测量系统的温度进行现场比较，以确定温度控制系统温度的偏差是否符合要求的测试。

3.15　温度均匀性测量　temperature uniformity survey（TUS）

在热处理炉热稳定后，用已校准的温度测试仪、热电偶、补偿导线对炉子有效加热区的各区域温度与工艺规定温度之间的偏差进行的一系列测量。

3.16　过程能力　process capability

热处理过程处于稳定的控制状态下统计质量变差的幅度。

4　质量策划和持续改进

4.1　总要求

组织必须通过 GB/T 19001 质量管理体系或顾客指定的质量管理体系的认证，并在合格有效期内。组织应确保制定的体系要求得到有效实施和持续改进。

4.2　质量策划

4.2.1　建立质量策划小组

组织应建立质量策划小组，负责热处理过程的质量策划与控制。

4.2.2　顾客要求和相关热处理标准、规范的管理

4.2.2.1　组织应形成文件建立明确的流程和规定确保所有与顾客要求和相关的热处理标准和规范得到识别、理解并适时的引用、评审、发放和实施，其过程不应超过两个工作周。

4.2.2.2　组织应确保顾客要求和相关热处理标准、规范是可使用的最新版本。

4.2.2.3　组织应确保顾客要求和相关热处理标准、规范逐级落实到生产现场和使用人员及具体执行的部门和岗位。

4.2.3　质量先期策划（APQP）

4.2.3.1　组织应建立质量先期策划的程序文件，对每种零件进行热处理过程、工艺设计、质量控制等可行性研究，并获得内部批准和验证。

4.2.3.2　组织应根据顾客要求将内部批准和验证的文件交顾客评审批准。

4.2.3.3　经过顾客评审批准的文件在其后的生产过程中不能发生任何工艺及过程的更改。当确认需要进行工艺及过程更改时，应先得到顾客批准并保存更改记录。

4.2.4　生产过程能力的有效性研究

4.2.4.1　组织应对生产过程能力的有效性进行研究，包括初始阶段、设备重新布置/搬迁和大修后、量产后、工程变更后。

4.2.4.2　过程能力有效性研究应包括指定工作范围的所有热处理炉生产线（可能包括许多设备的组合以集成所需的热处理工艺）的热处理过程。

4.2.4.3　组织应建立过程能力有效性的研究方法和接收准则，最终应该满足热处理后产品特性得到有效控制的要求。

4.2.4.4　未达到顾客要求或内部规定的接收准则时，组织应实施整改并重新评审其过程能力的有效性。

4.2.5　更改控制

4.2.5.1　组织应建立文件对零件热处理过程的所有更改（包括由供应商引起的更改）进行控制、

评估，规定验证及确认的方法，确保与顾客要求一致。

4.2.5.2 更改在实施之前应通知顾客并获得顾客批准。当顾客要求时，还应满足顾客附加的验证/标识要求。

4.2.5.3 更改的记录应予以保存。

4.2.6 过程失效模式及后果分析（PFMEA）

4.2.6.1 组织应建立过程失效模式及后果分析的程序文件，确保过程失效模式及后果分析及时得到更新以反映和控制零件当前的热处理质量状况和风险。每种零件都应有文件化的过程失效模式及后果分析。

4.2.6.2 过程失效模式及后果分析应该在热处理过程（包括从零件接收到零件交付的所有过程）实施阶段对构成过程的每一步骤逐一进行分析，找出潜在的失效模式，分析可能的后果，评估其风险，对具有高风险的项目按优先顺序进行关注和预先采取必要的措施。

4.2.7 控制计划

4.2.7.1 组织应建立控制计划的管理程序，确保控制计划得到有效更新、传递和受控实施。每种零件应有控制计划，控制计划可以覆盖采用通用过程生产的多种相似零件。

4.2.7.2 控制计划应规定从零件接收、热处理前的初始验证到零件交付的所有过程，并识别、标明、定义和发布特殊特性，确认使用的过程设备和过程方法以及热处理关键过程的过程参数和监视频次，确定过程评价的样本容量和抽样频率、接受准则，实施部门或岗位。

4.2.7.3 控制计划必须和所有相关的文件如作业指导书、工艺流程卡和过程失效模式及后果分析等保持一致。特殊特性应与顾客规定的定义和符号相一致。

4.2.7.4 控制计划应覆盖样件、试生产、生产三个阶段。

4.2.7.5 控制计划是一个动态文件，当有下列五种情况之一发生时必须评审和更改控制计划：产品更改时，过程更改时，过程不稳定时，过程能力不足时，检验方法、要求部位、频次修订时。

4.2.8 程序文件或作业指导书

4.2.8.1 组织应建立覆盖从零件接收到零件交付的所有操作步骤的并适用于操作人员使用的程序文件或作业指导书。该程序文件或作业指导书应包括但不仅限于处置潜在紧急情况、设备启动和停止、产品隔离封存和标识、产品检验、不合格品管理、纠正预防措施等相关内容。

4.2.8.2 操作人员均应接受程序文件或作业指导书内容的培训，组织应对培训的有效性进行评估并记录。操作人员在现场应能查阅程序文件或作业指导书。

4.2.8.3 潜在紧急情况作业指导书是指计划外或紧急情况下会引起过程风险、质量风险、安全风险或停工等情况所采取的对应措施的指导性文件。该作业指导书应规定包括但不仅限于停电或设备故障等情况下的操作规范、工艺处理应急措施、检验应急措施、产品隔离等有关的所有遏制措施。

4.2.9 过程规范

4.2.9.1 组织应建立文件化的过程规范，并确保得到有效传递和实施。过程规范可采用作业指导书、工艺流程卡、计算机系统的参数设定表单或其他类似文件。所有过程都应具有明确的过程规范。

4.2.9.2 过程参数包括但不仅限于装载率、装载方式、工艺温度、时间周期、流量、压力、冷却转移速度、冷却介质的温度和搅动速度等，组织应明确参数的内容及其公差控制范围。

4.3 持续改进

4.3.1 组织应建立热处理过程中能提供缺陷预防和提升质量的数据分析系统。确定需要列入分析范围的数据，包括产品和重要过程参数的现行趋势或历史数据。数据分析应包括但不限于以下方面的信息：

a）顾客满意度；

b）产品热处理要求的符合性；

c）过程和产品的特性及趋势，包括可采取的预防措施；

d）供应商。

4.3.2　管理者对热处理监控系统的检查间隔应不超过 24 h。热处理监控系统包括但不限于：温度记录纸带、气氛记录纸带、计算机数据日志、热处理炉及操作者日志等以及处于失控或报警状态的内容。检查过程应记录存档，包括计算机数据。

4.3.3　组织应该每年至少进行一次内部审核和管理评审，及时发布审核发现的问题和采取有效的纠正预防措施。

4.3.4　组织应及时对影响顾客要求和质量控制的重大事项进行评审、处理并形成文件存档。

4.3.5　组织应建立包含了优先顺序、预计完成时间、责任人的优先改进计划，实施持续改进的记录和有效性证据。

5　人员

5.1　人员配备

组织应配备具备独立上岗能力和资格的热处理责任人、生产操作人员、设备维护人员、质量控制人员等从业人员。

5.2　热处理责任人的岗位资格

热处理责任人应该为全职员工，其岗位和职责应该在组织机构图中予以体现。该岗位应由熟悉金属学及热处理工艺和设备等专业知识，在热处理技术领域具有至少 5 年的工作经验，至少具备热处理或材料工程师或相当资质的人员担任。

5.3　责任矩阵表

组织应该建立并明确所有热处理过程关键作业岗位的职责。建立包含管理、监控、作业职责的责任矩阵表，并确保这些岗位职责由有资质的人员担任，同时识别这些关键职责的主要人员和后备人员，管理层应能方便地看到该责任矩阵表。

5.4　技能矩阵表

组织应该建立并明确所有热处理从业人员的技能等级需求和实际技能矩阵表，以方便从业人员明确技能提升方向和管理者组织实施技能培训。管理层应能方便地看到该技能矩阵表。

6　物料

6.1　物料输入和验证

6.1.1　本标准物料指顾客委托热处理加工的零件和料箱（或料筐等盛具）。

6.1.2　组织应该建立以顾客发运文件和实际接受情况等信息为依据的物料输入、接受系统。以保证物料输入、接受系统的数据和实际情况一致。

6.1.3　组织应建立顾客来料的识别、验证作业指导书。识别、验证的内容包括但不限于顾客名称、物料名称、型号、批次号、初始状态（化学成分、原始组织状态等）、外观质量、数量、技术要求、交货期、前工序过程。

6.1.4　组织应在顾客要求和物料批次、标识充分识别后建立内部热处理过程文件，内容包括但不限于入库单、生产计划书、领用单、工艺流程卡、工艺记录单、检验记录、发货记录等。当接收产品不能准确地和流转文件相符合时，组织应有详细的处理程序。

6.1.5　上述要求同样适用于组织内部的各部门。

6.2　物料的标识和可追溯性管理

6.2.1　组织应该建立物料的标识和可追溯性管理程序。出厂零件的批次应能追溯到进厂零件的批

次和热处理过程中的批次以及与此相关的信息。

6.2.2 热处理过程中物料应该清晰地被标识并按批次贮存在定置区域，避免物料错误处理和批次间的混淆。

6.2.3 待处理品、在制品、完成品、不合格品、异常品、待检验品、可疑品、样件、落下品等应该分类隔开并标识。

6.2.4 组织应建立对热处理过程、设备、区域的死角区进行识别和监控的程序。当零件的热处理工艺过程或设备改变时应及时识别并监控其潜在的死角区，避免零件的滞留。

6.3 可疑品、异常品和不合格品的管理

可疑品是批次和质量状态不明确的产品：异常品是热处理过程中发生异常而导致产品质量不确定的产品；不合格品是质量状态不满足规定要求的产品。组织应该建立可疑品、异常品和不合格品管理程序，保证这类物料的有效隔离、标识和及时处置。

6.4 隔离物料的管理

组织应明确并授权相应人员对隔离物料进行处置并跟踪处置结果。

6.5 返工件的处理

6.5.1 组织应制定返工（重新热处理）处理的作业指导书，包括对指定责任人的授权，允许返工的零件特性；返工的零件名称、型号、批次号、原始炉号、数量、返工原因、返工工艺等。

6.5.2 零件实施热处理返工前应通知顾客并获得顾客批准。零件在 APQP 或 PPAP 阶段已预先获得顾客批准的返工处理可先实施再通知，但组织应在零件的 PFEMA 和控制计划中说明。

6.5.3 返工件的结果验证应经组织指定授权人验证。返工件的放行应经组织指定授权人的批准和顾客的批准。

6.6 料箱中零件的控制

不同批次、不同状态零件应严格标识和区分。对卸空后及重新使用前的料箱应检查，确保所有物料已被取出。确保已完成热处理的完成品批次中没有混入未热处理件或不合格零件或无法确认批次和状态的零件。

6.7 零件搬运、贮存、包装、运输

组织对零件的搬运、贮存、包装、运输应该建立明确的过程规范并适时评审，以充分保证零件质量和批次的控制。装载容器和发运零件应该有适当的标识和装载方式的要求，以防止包括但不限于零件碰伤、遗失、锈蚀、散落、混淆、缺件和状态、批次标识不清等质量风险。

7 设备

7.1 通用要求

7.1.1 热处理设备应满足 GB 5959.3、GB/T 10066.1、GB/T 10066.31、GB/T 10066.4、GB/T 10067.1、GB/T 10067.3、GB/T 10067.4、GB/T 10067.41、GB/T 10067.42、GB/T 10067.43、GB/T 10067.44、GB/T 10067.45 等相关国家或行业标准以及顾客的要求。

7.1.2 所有加热设备包括热处理炉、气氛发生器、淬火冷却系统、清洗系统都应有温度等关键参数的控制、指示、记录仪表和报警系统。温度、气氛等监视系统要求有连续纸带记录和/或数据日志。

7.1.3 组织应建立热处理设备及过程的报警装置清单，并制定对应管理文件。应至少每周或在任何修理、重置后对报警装置进行测试。记录并保存测试结果。

7.1.4 组织应识别并建立热处理设备过程控制装置清单，并制定对应管理文件。这些装置包括但不限于压力表、电流表、电压表、流量计、温度控制仪表、记录仪表、气氛控制仪表等计量器具。组织应该根据内部规定或法定要求进行检定或校准，不合格的需重新检定或校准后使用，并确保合

格和在有效期内使用以及保存相关记录。

7. 1.5　组织应建立设备安全操作作业指导书、明确规定设备的操作方法和步骤，并确保操作者掌握和正确操作。

7.1.6　组织应建立设备点检作业指导书，规定点检内容、点检标准、点检频次和实施人并记录保存。

7.1.7　组织应建立设备预见、预防性维护程序，识别关键过程关键设备，确保设备从维护申请、实施、有效评价等整个过程处于闭环管理。设备操作人员、维护人员应能及时发现、反馈问题并有效解决。

7.1.8　组织应建立设备关键元器件的备件清单和使用寿命管理，以保证最小程度的生产中断。

7.2　加热设备

7.2.1　加热设备分类及技术要求

本标准中热处理加热设备是指为实现热处理工艺的加热要求，具有工艺规定温度的各类热处理炉。其类别、有效加热区温度均匀性及其控温仪表、记录仪表准确度/级别的要求详见表1。热处理加热设备类别应根据零件材料、工艺要求、顾客要求确定。

表1　热处理加热设备类别、有效加热区温度均匀性及控温仪表准确度级别、记录仪表准确度级别

设备类别	温度均匀性/℃	控温仪表准确度级别	记录仪表准确度级别	设备类别	温度均匀性/℃	控温仪表准确度级别	记录仪表准确度级别
Ⅰ	±3	0.1	0.1	Ⅳ	±15	0.5	0.5
Ⅱ	±5	0.2	0.2	Ⅴ	±20	0.5	0.5
ⅢA	±8	0.5	0.5	Ⅵ	±25	1.0	1.0
Ⅲ	±10	0.5	0.5				

7.2.2　温度均匀性测量

7.2.2.1　热处理加热设备凡属下列状况之一者，组织应按照GB/T 9452对热处理加热设备的有效加热区炉温均匀性进行测量：

a）新设备投入使用前；

b）经过大修或技术改造的热处理炉；

c）控温或记录温度传感器位置变更时；

d）有效加热区位置改变和体积扩大；

e）设备搬迁和长期停炉后使用（超过3个月）时；

f）组织规定或顾客要求应测定时。

7.2.2.2　热处理加热设备有效加热区的测量周期见表2所示。

表2　热处理加热设备有效加热区温度均匀性测量周期

设备类别	有效加热区测量周期①②/月	设备类别	有效加热区测量周期①②/月
Ⅰ	2	Ⅳ	6
Ⅱ	2	Ⅴ	6
ⅢA	6	Ⅵ	12
Ⅲ	6		

①　利用率较低的热处理炉，其测量周期可适当延长。

②　连续三个周期检测合格、使用正常的热处理炉和仅用作退火、正火和消除应力等热处理的加热炉，其测定周期可延长至一年。

7.2.2.3 如果有效加热区的工作温度小于等于170℃（对铝合金固溶时效炉而言应为85℃），则仅要求测试工作温度范围内的一个温度。如果大于170℃（对铝合金固溶时效炉而言应为85℃），应测试工作温度范围内的最低、最高温度或组织规定的其他温度点。

7.2.2.4 如果在炉内有零件的情况下进行温度均匀性测量，该零件应与正常生产的零件相同且温度传感器应连接到零件上或埋在零件本体内部。

7.2.2.5 对于不同热处理工艺要求，有效加热区温度均匀性最大允许误差的要求详见表3。

表3 不同工艺有效加热区温度均匀性的最大允许误差

热处理工艺	有效加热区温度均匀性最大允许误差
渗碳、碳氮共渗、复碳、调质、贝氏体等温淬火、贝氏体分级淬火、回火、时效	淬火≤±15℃；回火≤±10℃
气体渗氮、气体或盐浴氮碳共渗	≤±10℃
铝合金热处理	固溶及时效≤±5℃；退火≤±15℃
退火、正火、去应力退火	去应力退火、正火炉≤±15℃；退火、回火炉≤±10℃
真空渗碳	真空渗碳淬火、回火≤±10℃
离子渗氮	离子渗氮炉不要求温度均匀性。温度范围在试生产时确定
烧结件硬化	淬火≤±15℃；回火≤±10℃

7.2.3 系统准确度校验

7.2.3.1 校验要求

7.2.3.1.1 热处理加热设备每个控制区的温度控制和记录系统应进行系统准确度校验。未按规定定期进行系统准确度校验的设备不能使用。进行系统准确度校验的测量温度传感器、测量仪器等必须经过校准合格且在有效期内。

7.2.3.1.2 设备重新使用前或进行了影响温度系统准确度精度的任何维护之后（包括更换温度传感器，更换控制、监控、记录仪表和进行仪表调整后等），应重新进行系统准确度校验。

7.2.3.1.3 系统准确度校验、校验周期及最大允许调整量见表4，应符合GB/T 30825要求。

表4 热处理加热设备类别、温度均匀性及温度系统准确度要求和校验周期

设备类别	温度均匀性/℃	系统准确度校验最大误差①		最大允许调整量(补偿)①②③		系统准确度校验周期/月
		温度/℃	读数的百分数(%)	温度/℃	最高工作温度的百分数(%)	
Ⅰ	±3	±1.1	0.2	±1.5	—	2周
Ⅱ	±5	±1.7	0.3	±3	—	1
ⅢA	±8	±2.2	0.4	±5	0.38	3
Ⅲ	±10	±2.2	0.4	±6	0.38	3
Ⅳ	±15	±2.8	0.5	±7	0.38	3
Ⅴ	±20	±2.8	0.5	±7	0.38	3
Ⅵ	±25	±5.6	1.0	—	0.75	6
冷处理设备、淬火槽	—	±2.8	—	±6	—	6

① 以最大者为准（温度或读数的百分数，温度或最高工作温度的百分数）。

② 对于手工和电子方法最大允许调整量（补偿）相同。

③ 系统准确度校验和温度均匀性测试的补偿是独立的，对两者都是最大允许调整量。

7.2.3.1.4　系统准确度校验的热电偶应符合本标准 7.2.4 条要求，仪表应符合本标准 7.2.5 条要求，补偿导线应符合本标准第 7.2.6 条要求。测量热电偶、测量仪表、测量用补偿导线应经过校准合格并在有效期内，同时应提供包含修正因子在内的量值溯源证书。

7.2.3.1.5　系统准确度校验应在设备以特定工作温度运行且已完成任何有影响系统准确度校验的维护后进行。

a）系统准确度校验热电偶的测量端应尽量靠近控制、监测和记录热电偶的测量端，其距离应不大于 76mm。后续的系统准确度校验热电偶应置于与初次系统准确度校验时所使用的热电偶相同的位置和深度。

b）系统准确度校验热电偶可以是临时插入的，也可以是固定的。

c）固定的系统准确度校验热电偶应符合下列条件：

——固定的系统准确度校验热电偶用于温度超过 260℃时应为 B、R、S 或 N 型，如果用于温度超过 538℃时应为耐久型。

——固定的系统准确度校验热电偶类型与被校验热电偶类型应不同。但 R 型和 S 型热电偶不能互相校验。

7.2.3.2　校验方法（SAT）

7.2.3.2.1　测量法 A

a）测量法 A 是检测未修正的温度控制系统读数（控制仪器、补偿导线和热电偶）与已修正的测量温度系统读数（测量仪器、测量补偿导线、测量热电偶）的差值，见图 1 所示。

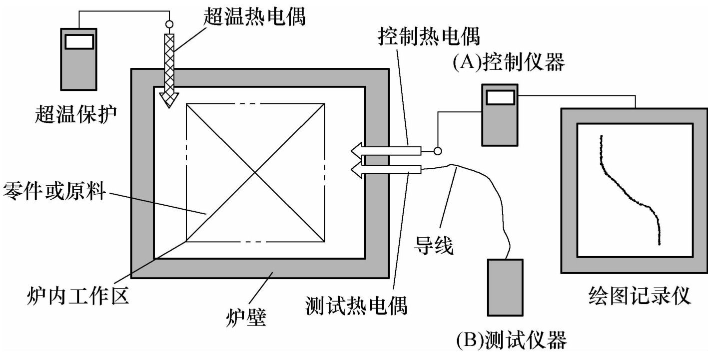


图 1　测量法 A

b）连接至控制热电偶的控制仪器的温度显示值与已修正后的测试仪器的温度显示值的差值应符合表 4 对应设备类别的准确度控制要求的范围内。插入测量热电偶后，应给予充分的时间令测量温热电偶与控制热电偶两者间达成均衡。

c）如计算出的系统准确度测量（SAT）差值超过表 4 的要求，在实施其他热处理过程前应采取合适的纠正措施控制差值，如更换未能满足要求的控制热电偶。对更换新的热电偶后应重新进行系统准确度校验（SAT）。所有采取的措施应记录并保存。

d）按表 4 规定的校验周期进行系统准确度校验。

例：系统准确度校验（SAT）测量法—A

未修正的温度控制系统读数(A)	测试仪器温度(B)	测试热电偶修正因子(C)	测试补偿导线修正因子(D)	测试仪器修正因子(E)	真实测试温度 (F)=(B)+(C)+(D)+(E)	计算得出的 SAT 差值(A)-(F)
900℃	901.5℃	-0.5℃	0℃	+0.1℃	901.1℃	-1.1℃

7.2.3.2.2　测量法 B

a）测量法 B 是比较测试仪器上未修正的温度控制热电偶读数和已修正的测试温度系统读数（测试仪器、测试补偿导线、测试热电偶）的差值，见图 2 所示。

b）插入测试热电偶后，应给予充分的时间令测试热电偶与控制热电偶两者间达成均衡。

c）如测试仪器上显示的温度控制热电偶的未修正读数与测量温度系统（测试仪器、测试补偿导线、测试热电偶）的已修正读数之间计算出的系统准确度（SAT）差值不符合表 4 对应设备类别的准确度控制要求的范围，应更换温度控制热电偶，在实施另外的热处理过程前应采取其他合适的纠正措施控制差值。所有采取的措施应记录并保存。

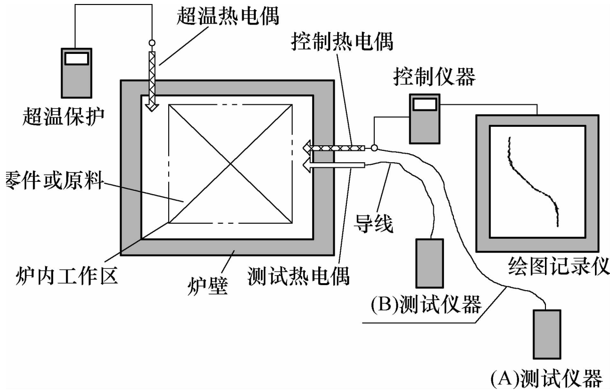


图 2　测量法 B

注：测试仪器 A 与测试仪器 B 通常为同样的测试仪器。

d）应按表 4 规定的校验周期进行系统准确度校验。

例：系统准确度校验（SAT）测量法—B 测试仪器显示控制

未修正的控制热电偶温度(A)	测试仪器温度(B)	测试热电偶修正因子(C)	测试补偿导线修正因子(D)	测试仪器修正因子(E)	真实测试温度(F)=(B)+(C)+(D)+(E)	计算得出的 SAT 差值(A)-(F)
900℃	901.5℃	-0.5℃	0℃	+0.1℃	901.1℃	-1.1℃

7.2.3.3　系统准确度校验报告

系统准确度校验报告应包含以下内容：

a）被校验设备名称、型号、编号；

b）被测试温度传感器的型号、编号；

c）测试温度传感器的型号、编号：

d）测试仪表的型号、编号；

e）测试的日期、时间、地点；

f）测试时炉子的温度设定点；

g）观察到的炉子控制仪表读数；

h）观察到的测试仪表读数；

i）测试热电偶和仪表的修正因子；

j）经修正的测试仪表读数；

k）计算得到的系统准确度误差；

l）校验合格或不合格结论；

m）进行校验的测试、审批人员签字。

7.2.4　温度传感器

7.2.4.1　温度传感器的选择和使用应符合 GB/T 30825 等相关标准的规定和要求，对于真空炉、气氛炉应采用铠装热电偶，铠装热电偶还应符合 GB/T 18404 等相关标准规定的技术条件。控制、监视和记录用热电偶校准和更换的要求应符合表 5 的规定。

表 5　控制、监视和记录热电偶的校准和更换要求

热电偶类型①	操作温度	校准/更换间隔	校准对应标准	校准准确度要求
廉金属类型（K、N、J、E）	≥760℃	第一次使用前校准。每年更换②~④	一级或二级标准	Ⅰ类或Ⅱ类炉：±1.1℃或±0.4%t ⅢA类至Ⅵ类炉：±2.2℃或±0.75%t
廉金属类型（K、N、J、E）	<760℃	第一次使用前校准。每两年更换②~④	一级或二级标准	
贵金属类型（B、R、S）	≥760℃	第一次使用前校准。每两年更换②~⑤	一级或二级标准	

① 非消耗性。
② 必要时热电偶应按上述要求随时更换，如未通过系统准确度校验或已损坏的热电偶。
③ 廉金属热电偶不应再校准。
④ 不适用于负载热电偶。
⑤ B型、R型和S型贵金属热电偶可用再校准代替更换。

7.2.4.2　热电偶首次使用前应在使用温度范围内进行校准，校准温度间隔应不超过150℃。允许在最高温度校准点和最低温度校准点间采用差值法计算修正值，高于最高温度校准点或低于最低温度校准点间不应该用此方法。校准用的标准热电偶必须经过有资质的第三方校准并带有溯源证书，使用时必须在有效期内。

7.2.4.3　组织应建立控制温度与设定温度之间偏差的控制以及超出偏差控制范围的对策并记录保存。

7.2.4.4　热处理炉至少应配备2支热电偶用于温度的控制和超温报警。热电偶及其保护管应按组织制定的预防性维护计划定期检查或更换。

7.2.4.5　热电偶“使用一次”的定义为加热和冷却的一次循环。热电偶最大允许使用次数见表6。

表 6　热电偶最大允许使用次数

热电偶类型	应　　用	工作温度	最大允许使用次数
消耗性廉金属	温度均匀性测量/系统准确度校验	≤980℃	15
消耗性廉金属	温度均匀性测量/系统准确度校验	>980℃	1
消耗性廉金属	控制①	全部	1
消耗性廉金属	监视/记录/负载传感②	>650℃	1
消耗性廉金属	监视/记录/负载传感②	≤650℃	30
非消耗性廉金属	温度均匀性测量，系统准确度校验及负载传感热电偶③	≤980℃	180④⑤
非消耗性廉金属	温度均匀性测量，系统准确度校验及负载传感热电偶③	>980℃	90④⑤

① 包括作为控制热电偶使用的负载热电偶。
② 用于负载的消耗性廉金属热电偶，在未呈现可视劣化现象的情况下允许使用多次。要求书面记录说明已遵守相应操作规定。
③ 用于负载的非消耗性廉金属热电偶，在未呈现可视劣化现象的情况下允许使用多次。要求书面记录说明已遵守相应操作规定。
④ 当非消耗性廉金属热电偶在高于980℃使用时，最大使用总次数为90次，90次应包含该热电偶之前或之后在任何温度读数下工作的次数。
⑤ 用于TUS及SAT的非消耗性廉金属热电偶，如果缺少使用次数的记录，应于六个月后更换。

7.2.5　控制仪表

控制仪表的选择及控制精度应符合GB/T 30825等相关标准规定的技术条件。

7.2.6 补偿导线

热电偶补偿导线应符合 GB/T 4989、GB/T 4990、GB/T 30825 等相关标准规定的技术条件。

7.3 冷却设备

7.3.1 淬火冷却系统组成

7.3.1.1 淬火冷却系统通常包括下列适用的设施和组成部分：淬火冷却槽或淬火机床、移动淬火工件的装置、搅动装置、冷却器、加热器、泵、排水器或过滤器、供给淬火剂的集液槽、通风设备、安全防火设施和除去槽中炭黑、氧化皮、污物的装置等。

7.3.1.2 淬火系统应是一个自动化的操作过程，需要进行人工手动淬火应有充分的安全设施和经过验证对淬火质量无影响的措施，否则人工手动淬火是不允许的。

7.3.1.3 淬火冷却系统的设计、使用应按照 JB/T 10457 等相关标准的要求执行。

7.3.2 淬火冷却系统的监视、记录和控制

7.3.2.1 淬火冷却系统应该受到监视、记录和控制，淬火介质的温度、搅动、液位、浓度（适用时）、悬浮物（适用时）、浸入时间、淬火预冷延迟时间（适用时）、淬火时间、冷却循环、安全报警等应建立监视测量装置和对应的管理文件。采用计算机监控的设备应有报警和报警日志，采用整体淬火的热处理设备要考虑淬火预冷时间的范围和报警。

7.3.2.2 折光仪、黏度仪、冷却特性测定仪等仪器应根据相关标准或组织内部规定进行每年至少一次的检定。

7.4 辅助设备

7.4.1 清洗和清理设备

7.4.1.1 热处理用的清洗和清理设备均应符合相关标准的技术安全要求，不应产生影响热处理产品和工装、设备的要素。清洗和清理后零件表面质量应符合相关质量标准或专用技术文件的规定或顾客要求。

7.4.1.2 清洗设备应有明显的标识，注明名称、溶剂、配比、温度、浓度、检测周期、合格、禁用的标识等。有温度控制需求的，应配备分辨率不大于 5℃ 的控温仪表。

7.4.1.3 清理钢件和高温合金制件及去除保护涂料的设备应与清理有色金属和精密合金制件的设备分开，不得混淆。

7.4.1.4 清理设备应有除尘装置和工艺材料分选回收装置。

7.4.2 气氛制备与控制系统

7.4.2.1 组织应定义实施保护气氛、渗碳、碳氮共渗、调质、渗氮等热处理工艺过程所需的气氛种类并建立气氛制备、监控、验证等系统。

7.4.2.2 组织应对气氛发生器和炉内气氛的温度、碳势、氮势等参数配置连续监视、自动控制及形成记录的系统装置，对气氛组分的流量、压力等配置监视、测量和报警的装置，建立对应的管理文件，控制其在公差要求范围内，并记录保存。

7.4.2.3 组织应按照预防性维护计划、点检作业指导书对气氛炉和发生器的流量计、压力显示器等过程控制装置进行周期性的保养维护和点检。适用时，应有文件规定其清洁和适当的重新组装的要求。

7.4.2.4 自动连续气氛控制系统包括但不限于传感器（如氧探头、氢探头）和红外线气体分析仪（IR）、气氛控制仪等。

7.4.2.5 组织应建立气氛监控、验证系统及对应的管理文件。监控、验证系统的读数都应该保持在控制计划或作业指导书所规定的公差范围内。如果气氛验证、监控的读数与原来的控制方法所确定的极限值不一致或超差时，组织应该采用适当的方法调整并重新建立气氛以解决不一致或超差的

问题。

7.4.2.6　碳势的验证检查应使用以下一种或多种方法确定：钢棒或零件表面含碳量的剥层测试法；JB/T 10312 钢箔测定碳势法；红外气体分析法；露点法；热丝电阻法。

7.4.2.7　所有连接热处理炉的氨管道都应装备快速断开或三阀防故障安全排气系统。组织应有设施和文件规定确保当进行不需要氨气气氛的热处理过程时氨气管道已断开。

7.4.2.8　连接热处理炉的氨管路的安全排气系统，应使用以下防故障自动安全方法之一以防止氨气泄漏至炉内：

——快速断开或实体管道分离；

——允许使用三阀防故障安全排气系统；

——串联连接的一个手动阀及两个电磁阀。

7.4.2.9　组织应建立热处理气氛的残氨氧化燃尽作业指导书。在处理不需要通入氨气的产品之前（完成已进行通入氨气处理的产品后），连续炉至少应完成 3h 的氧化燃尽过程，周期炉至少应完成 1h 的氧化燃尽过程。如清除过程低于规定时间，则要求确切的气氛测试数据显示炉内气氛不含大量残氨。记录并保存实际的氧化燃尽时间。

7.4.2.10　组织应建立富碳气氛转换为普通保护气氛的气氛控制作业指导书。记录并保存实际的处理时间。

7.4.2.11　组织应建立氧探头碳控仪系统监控的作业指导书，至少每季度校验一次（单点或多点校验）或每半年进行一次多点校验，定期验证其准确度。

7.4.2.12　检测用露点仪、气体分析仪等使用前应验证并每年至少检定一次。

7.5　感应热处理设备

7.5.1　感应热处理设备通常包括电源、淬火机床、冷却水及软化系统、淬火液冷却系统、控制系统等。电源应包括但不限于过流、过压、限流、限压、逆变失败、水压水温检测等保护功能。组织应建立对应的设备管理文件。

7.5.2　组织应确定检测每个零件正确定位的方法，并建立对应的管理文件。

7.5.3　组织应控制每个零件热处理时的能量消耗量，应有经过验证的能显示单位时间或距离的能量消耗量的能量监视器或信号监视器以及对应的报警系统。

7.5.4　组织应建立感应器系统的管理文件。感应器应该满足设计和控制要求，感应器设计发生更改时应获得顾客批准。现场应该具备每种零件的备用感应器。

7.6　监视和测量设备

7.6.1　组织应根据热处理过程以及产品的特点、要求配备相应的监视和测量设备并建立对应的管理文件。

7.6.2　组织应具备能进行硬度、材料化学成分、显微组织、晶粒度、力学性能（适用时）、气体组分等检测的设备。包括但不限于样品切割机或线切割机、砂轮机、砂带机、镶嵌机、预磨机、抛光机、电子分析天平、腐蚀液及配液操作通风厨、硬度计、金相显微镜、光谱仪、样品陈列柜等检测设备。

7.6.3　组织应建立监视测量设备的预防性、预见性维护程序和操作、维护、检定、校准作业指导书，保存实施的记录。

7.6.4　所有测量仪器设备每天或使用前应按作业指导书规定的方法验证后使用。

7.6.5　组织应建立每年至少一次的测量仪器的检定、校准制度，确保仪器的准确度并在合格期内使用。

7.6.6　组织应建立测量系统能力分析的管理文件，并经内部评审、批准实施，保存实施记录。

8 工艺材料

8.1 种类

工艺材料指热处理生产过程中使用的包括但不限于氮气、液氨、天然气、二氧化碳、甲醇、丙烷、煤油、丙酮、无水乙醇、氢气、水、聚合物水溶性淬火介质、油、盐、清洗剂、汽油、防锈剂、防渗涂料等材料。

8.2 工艺材料通用要求

8.2.1 组织应该识别热处理全过程所需使用的工艺材料，并规定其化学/物理特性、采购管理、使用方法、存贮方式、运输要求、应急预案等要求。建立相关的程序或过程规范控制其符合性和正确使用。

8.2.2 工艺材料应符合 GB 338、GB 536、GB/T 8979、JB/T 4393、JB/T 6955、JB/T 7530、JB/T 9202、JB/T 9209、SH 0553 等相关标准的要求，使用时不能对热处理工装、仪器设备、零件、环境、操作人员、产品产生有害影响。

8.2.3 组织应选择合格供应商提供的合格工艺材料。供应商应提供质量证明、合格证及使用规范，必要时应该有化学物质安全数据表等相关的文件。

8.2.4 组织应制定供应商管理程序，定期审核供应商的质量保证体系并验证其质量稳定性和交付能力。

8.2.5 组织应关注热处理前道工序所用加工介质（如切削液）的成分对热处理质量的影响。

8.2.6 组织应对清洗剂中钠离子、硅元素的含量制定规定并实施控制。

8.3 马氏体分级淬火介质

8.3.1 钢件在 95～230℃进行马氏体分级淬火时，可用热油作淬火介质，热油工作温度应低于油的闪点以下 50℃。油面需用气氛保护，以防其快速老化。

8.3.2 钢件在 160～400℃的马氏体分级淬火时，可使用(50%～60%) KNO_3 +(37%～50%) $NaNO_2$ +(0～10%) $NaNO_3$ 熔盐。

8.4 贝氏体等温淬火介质

钢件的贝氏体等温淬火可用表 7 所列的硝酸盐和亚硝酸盐混合盐。将熔盐加热到 175～550℃时可用于贝氏体等温淬火。

表 7 贝氏体等温淬火用盐

等温盐	化学组成(质量分数,%)			熔点/℃	工作温度/℃
	$NaNO_3$	KNO_3	$NaNO_2$		
低熔点	15～25	45～55	25～35	150～165	175～540
高熔点	45～55	45～55	—	220	240～550

8.5 残余亚硝酸盐的无害化处理

废水中的亚硝酸钠必须进行无害化处理，通过专门处理后的废水中亚硝酸根含量 <25mg/L 时才可排放。

9 工艺及过程控制

9.1 通用要求

9.1.1 组织应建立零件热处理前材料化学成分、原始晶粒度、原始组织、尺寸、外观状态等初始状态的验证作业指导书。

9.1.2 组织应根据零件特点、材料、热处理要求，合理选择加热、冷却、气氛种类等工艺规范。

9.1.3　组织应根据顾客要求和工艺规范编制相应的控制计划、作业指导书、作业记录等文件，发放并培训使用人员。

9.1.4　组织应建立热处理设备的点检、维护、温度均匀性、温度系统准确度、热电偶以及过程控制装置、报警装置等相关作业指导书并根据要求进行设备管理和记录。

9.1.5　组织应根据设备特点和管理要求建立开炉、停炉作业指导书并实施和记录。

9.1.6　组织应建立碳势、氮势等气氛控制、验证的管理作业指导书、确定监视测量方法、频率、实施人员并实施和记录。

9.1.7　组织应建立热处理工装夹具定期检查、分选、评审、修复或报废的管理作业指导书并实施和记录。控制不合适工装夹具的使用和因工装短缺导致的生产中断。

9.1.8　组织应严格控制对热处理过程或产品有影响的比如铁锈、毛刺、碎屑、有害的润滑剂混合物、乳化切削油、防锈油、润滑剂等有害污染物。监控并记录清洗过程和效果，评审化学品供应商对清洗系统的建议。

9.1.9　产品及其所用工装夹具入炉前应清除切削油、切削液、污物等。

9.1.10　组织应建立装料作业指导书，规定热处理零件的工装选用、装料方式、装载参数等控制内容。装载参数包括但不限于适用的：进料速度、传动带速度、每筐的零件数、装载重量、检查频率等。涂有保护涂料的零件之间应保持一定的距离。应能保证零件均匀地加热、冷却及零件之间气氛流畅，且放置在有效加热区内。

9.1.11　组织应建立淬火冷却介质的温度、搅拌速度、液位、浓度、冷却性能、淬火预冷时间、淬火时间等参数的控制管理作业指导书，确定监视频次、测量人员并实施和记录。

9.1.12　组织应定期检测并控制淬火油的含水量在0.05%以内。

9.1.13　新投入的淬火油要在100℃以上稍高温度保持至少48h，以除去油中水分。前室带缓冷功能的周期式多用炉使用冷油时应不定期将油加热到100℃以上进行烘油。

9.1.14　组织应按相关标准的要求建立槽液定期分析的管理文件并实施和记录。

9.1.15　组织应每天监控热处理盐浴中盐的化学性能以及零件脱碳情况，并建立文件明确使用方法和监控频次、监控实施人。

9.1.16　组织应控制淬火与回火间的最大延迟时间并记录。

9.1.17　组织应监视热处理产品在炉内的处理周期并记录。

9.1.18　组织应监视和控制零件的防锈过程及防锈油或防锈剂的特性并记录。

9.1.19　组织应建立并实施现场管理规范。

9.1.20　组织应针对顾客要求、零件检验要求等采用适用的标准或方法进行零件检测，并建立具体零件的检验作业指导书。

9.1.21　组织应建立表面硬度、心部硬度、显微硬度、硬度梯度、显微组织、晶粒度、材料化学成分、力学性能（适用时）等检测分析方法的作业指导书。

9.1.22　不同钢厂、不同批次的金属材料要求不同热处理工艺分开处理，如需采用相同工艺应事先验证其可行性。

9.1.23　焊接件、铸件、镀铜镀锌件、铜合金件以及粉末冶金件，一般不允许在盐浴中加热。

9.1.24　真空热处理应根据工艺需要建立渗碳、气体淬火过程的压力监视、压升率等参数的监视。其工艺应按GB/T 22561等相关标准的规定实施。

9.1.25　烧结硬化热处理用连续自动高温测试仪获得的控制温度在<1000℃时控制在设定值的±10℃内，在>1000℃时控制在设定值的±20℃内。

9.1.26　离子渗氮热处理应建立气体比率控制器/控制表、压力的监视测量、报警系统、异常处理

等作业指导书。温度应根据每批放置在负载内，实际代表该负载最高与最低温度的热电偶的记录温度来控制。控制范围应在试生产时确定（试生产时使用多个热电偶代表工作区），其工艺应按 JB/T 6956 等相关标准的规定实施。

9.1.27　气体渗氮和氮碳共渗应检测氨的分解率，控制各组分气体的流量及比例，其工艺应按 GB/T 18177 和 GB/T 22560 等相关标准的规定实施。

9.1.28　铝合金热处理应按 GB//T 25745 等相关标准的规定实施，监视测量淬火转移时间并记录。

9.1.29　钢件的渗碳与碳氮共渗、淬火、回火热处理的工艺标准应按 JB/T 3999 等相关标准的规定实施。

9.1.30　钢件的退火与正火热处理的工艺应按 GB/T 16923 等相关标准的规定实施。

9.1.31　钢件的淬火与回火热处理的工艺应按 GB/T 16924 等相关标准的规定实施。

9.2　感应热处理的工艺控制

9.2.1　热处理前根据设备操作、维护管理文件检查设备的控制系统、电源、冷却系统、零件定位装置等正常后使用。

9.2.2　热处理前应核查待加工零件的预处理组织，确认零件技术要求和工艺作业指导书一致，确认零件淬火部位。正确选用感应设备及感应器。

9.2.3　组织应采用环保型清洗剂清洗零件表面油污，去除铁屑。如必须采用汽油清洗，组织应建立对应安全防护措施并监视、控制。

9.2.4　操作前应检查零件是否存在漏工序或超工序的情况。

9.2.5　操作前应检查零件有无碰伤、划痕、变形、砂眼等缺陷。

9.2.6　组织应建立作业指导书规范感应器的选择并控制零件与感应器的间隙参数。

9.2.7　组织应建立淬火液压力和流量及其上限和下限报警系统、感应线圈和淬火液喷嘴定期清洗、停机后淬火液管道气泡清除等相关的管理作业指导书。当没有报警系统时，应在淬火启动时以及每 8h 检测一次淬火液压力和流量。

9.2.8　组织应建立感应淬火首件/末件检查、批量抽检的作业指导书，检查工艺结果的符合性和稳定性。

9.2.9　组织应建立产品感应热处理后进行无损检测的作业指导书，确定检测方法、频次和样本数量，验证产品开裂的可能性。

9.2.10　钢铁件的感应淬火回火处理工艺应按 JB/T 9201 等相关标准的规定实施。

9.3　过程监视测量频次

表 8 为热处理过程监视测量频次表，其给出的所有要求应服从于顾客要求和产品质量保证，包括但不限于下列要求。

表 8　过程监视测量频次表

过程监视测量频次	周期炉	连续炉	气氛发生器	盐浴
加热设备的温度控制系统的监视	连续记录，确认入炉前设备温度、入炉后设备降温温度、工艺规定温度、淬火（离开加热室）温度。至少每 2h 鉴字记录一次	连续记录，每 2h 签字确认一次，少于 2h 的处理过程每批鉴字记录一次。确认入炉前设备温度、入炉后设备降温温度、工艺规定温度、淬火（离开加热室）温度		每 2h 一次及任何更改后

（续）

过程监视测量频次	周期炉	连续炉	气氛发生器	盐浴
气氛发生器的监视（适用时）			气氛发生器应持续监视温度、气体流量、压力等参数并配备报警装置。每2h鉴字记录一次	
主炉气氛控制器的监视	连续记录，确认气氛建立时间和工艺规定点是否在控制要求范围内。至少2h签字确认一次，少于2h的处理过程每批次签字记录一次	连续记录，每2h签字确认一次，少于2h的处理过程每批次签字记录一次		每日一次监视盐的成分
渗碳和气体淬火过程中的压力、流量的监视（真空渗碳时适用）	连续记录，至少2h签字确认一次，少于2h的处理过程每批次签字记录一次	连续记录，每2h签字确认一次，少于2h的处理过程每批次签字记录一次		
生产前（APQP）应计算零部件的表面积（真空渗碳时适用）	提交APQP时	提交APQP时		
气氛控制的验证	至少每月一次，参考JB/T 10312验证碳势	至少每月一次，参考JB/T 10312验证碳势	至少每月一次	
气体渗氮时氨分解率和各组分流量的检测	每批一次或至少每小时一次	每小时一次		
铁素体氮碳共渗时气体比例的检测	每批一次或至少每小时一次	至少每2h一次		
盐浴：检验盐的化学性质（可溶性氧化物）或检验零件的脱碳情况				每日一次
对装载量或工装情况或装载率进行监视（适用时）	每批一次	每批一次：任何装载率改变后		每批一次
设备真空度控制的监视（离子渗氮时适用）	每批次或每2h签字确认一次。报警系统要满足界限报警的要求。控制计划要包括报警系统设置。报警系统每周检查一次，处理周期中的警报要记录在册			
在处理开始前，要求排空≤75μmHg/h，渗漏≤90μmHg/h（离子渗氮时适用）	每批一次			

（续）

过程监视测量频次	周期炉	连续炉	气氛发生器	盐浴
淬火预冷（延迟）时间：根据炉门开始开启到工件进入淬火槽底部的时间而设置（适用时）	每批一次	每料筐（适用时）		每批一次
炉内时间、处理周期或传送带速度的监视	每批一次；任何传送带速度改变后	每批一次；任何传送带速度改变后		
炉内压力的监视	每批一次	每批一次	每批一次	
废气燃烧口火焰的监视（适用时）	持续监视并配报警装置	持续监视并配报警装置	持续监视并配报警装置	
炉内搅拌风扇转速的监视	持续监视并配报警装置	持续监视并配报警装置		
报警装置的监视	报警系统每周检查一次，处理周期中的警报要记录和控制	报警系统每周检查一次，处理周期中的警报要记录和控制	报警系统每周检查一次，处理周期中的警报要记录和控制	
气氛介质流量和压力的监视	持续监视并配报警装置	持续监视并配报警装置	持续监视并配报警装置	
电压、电流平衡性的监视	每2h签字确认一次，少于2h的处理过程每批次签字记录一次	每2h签字确认一次，少于2h的处理过程每批次签字记录一次	每2h签字确认一次，少于2h的处理过程每批次签字记录一次	每2h，少于2h的处理过程每批次签字记录一次
燃烧器气体组分和压力的监视	持续监视并配报警装置	持续监视并配报警装置	持续监视并配报警装置	
淬火至回火最长延迟时间的监视	每批一次	每批一次		每批一次
淬火介质的监视（适用时）				
——温度	连续记录，淬火前签字记录	连续记录，淬火前签字记录		连续记录，淬火前签字记录
——液位	持续监视并配报警装置或每批次确认一次			每批次一次
——搅动	每批次目视检查一次，或在淬火操作过程中监视搅动状况并装备设定了可允许界限的报警系统			每批次一次
——搅动（风扇/鼓风机速度）（烧结硬化时适用）	要求有报警系统确保风扇正常运行。如果风速不固定，则每8h或任何变更后确认风速			
——压力和流量（感应淬火时适用）	在启动时及每8h检测一次淬火液压力和流量			
聚合物水溶性淬火介质				
浓度	每周不少于一次			每日一次
淬透性检查，冷却性能、黏性或滴定等	每三个月一次			每三个月一次

（续）

过程监视测量频次	周期炉	连续炉	气氛发生器	盐浴
水淬火介质				
悬浮固体物	每半年一次			
盐淬火介质				
分解物和污染物	每半年一次			
盐水或苛性淬火介质				
浓度和/或比重	每周不少于一次			
悬浮固体物	每半年一次			
油淬火介质				
含水量、悬浮固体物、黏性、冷却曲线、酸度和闪点等	每半年不少于一次，测量标准 GB/T 265、GB/T 268、GB/T 3536、GB/T 11133、GB/T 30823、JB/T 4392			
气体淬火介质				
气淬室内压力	每批次，要求有报警系统			
风速和风量	每批次，要求有报警系统			
冷却水温度和流量	每批次，要求有报警系统			
清洗剂的监视				
清洗剂浓度	每月不少于 2 次	每周不少于 1 次		
pH 值	每月不少于 2 次	每周不少于 1 次		
可溶性防锈油(剂)的监视				
浓度	每月不少于 2 次	每周不少于 1 次		

9.4　产品监视检测内容

产品监视检测内容、频次、检测标准见表 9。

表 9　产品监视检测内容、频次、检测标准表

产品监视检测的内容	检测频率	检测标准	备注
钢的显微组织并应提供显微组织图片	每批一次	GB/T 13298、GB/T 13299	
渗碳显微组织并应提供显微组织图片	每批一次	GB/T 25744	
碳氮共渗显微组织并应提供显微组织图片	每批一次	JB/T 7710	
渗氮显微组织并应提供显微组织图片	每批一次	GB/T 11354	
渗金属显微组织并应提供显微组织图片	每批一次	JB/T 5069	
感应淬火显微组织并应提供显微组织图片	每批一次	JB/T 9204、JB/T 9205	

（续）

产品监视检测的内容	检测频率	检测标准	备注
表面硬度	每批一次	GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 17394.1、JB/T 6050	
心部硬度	每批一次	GB/T 230.1、GB/T 4340.1、JB/T 6050	（有要求时）
渗层深度	每批一次	GB/T 9450、GB/T 9451、GB/T 11354	
脱碳层深度	每批一次	GB/T 224	（有要求时）
淬火总深度或有效淬硬层深度	首件、末件检测；每4h最少检测一件；工装更换、设备修理、报警(关闭、故障等)前后各检测1件	GB/T 5617	感应热处理适用
热影响区总深度	首件、末件检测；每4h最少检测一件；工装更换、设备修理、报警(关闭、故障等)前后各检测1件		感应热处理适用（有要求时）

10　作业场所与安全卫生

10.1　热处理作业场所的噪声应符合 GB/T 50087 等相关标准的规定。

10.2　热处理作业场所的有害物质应符合 GB/T 27946 等相关标准的规定。

10.3　热处理作业场所安全与卫生应符合 GB 15735、GB/T 30822 等相关标准的规定。

10.4　化学危险品分类和贮存应符合按 GB 13690、GB 15603 等相关标准的规定。

10.5　组织使用危险化学品应符合相关法律、行政法规的规定和国家标准、行业标准的要求，并根据危险化学品的种类、危险特性、使用量和使用方式建立危险化学品的安全管理规章制度和安全操作规程。

10.6　组织应建立和改进包含但不限于文化、政策、制度、安全保障、环境、工作条件、人体功效学等有利于热处理质量控制的作业场所。

第二节　热处理温度测量

一、概论

1. 标准的重要性、必要性

热处理是通过加热、保温、冷却三个主要过程达到改变材料和零件组织性能，实现提高机械装备性能和寿命目的，所以热处理与温度紧密相关联。温度的准确测量和控制是热处理成败的关键，热处理过程控制的核心是温度控制。先进工业国家很早就在这方面制定了一系列标准，如波音公司早在1955年就有 BAC 5621《材料工艺过程温度控制》，麦道公司于20世纪60年代也有 DPS 5.00-8《钢的热处理—高温测量》和后来的 DPS1.700《高温测量》，美国宇航材料规范 SAE AMS 2750

《高温测量》于1980年发布，并且不断更新换版，一直保持先进性、权威性，SAE AMS 2750 E是2012年发布最新文本。日本于1980也制定了JIS Z 8710《测量温度方法总则》、JIS Z 8704《温度测量方法—电方法》、JIS B 6901《金属热处理设备—有效加热区测试方法》等。我国自20世纪80年代改革开放以来，引进并吸收了热处理全面质量的概念，于1986年以后陆续制定了一些热处理质量控制方面的标准，但至今没有专门的关于热处理温度测量的标准。虽然在相关热处理质量控制标准中也涉及一些热处理温度测量的内容，但内容不全面、不系统。由于我国热处理技术水平落后，特别是热处理设备陈旧，所以在我国热处理质量控制标准中对热处理温度测量方面技术要求不够高，与国外热处理温度测量标准相比有很大差距。目前我国已成为制造大国，但还不是制造强国。从制造大国向制造强国转型的关键是采用世界先进标准，指导和引领装备制造技术发展。热处理是提高装备制造业水平和质量的重要环节，是装备制造业转型的基础工艺之一，制定先进的基础标准《热处理温度测量》，有利于热处理行业快速发展，推动装备制造业与国际接轨，对完善我国热处理标准体系也是很有必要的。

美国SAE AMS 2750《高温测量》标准范围，随着热处理的进步和发展不断改版，增加不少新内容，2005年9月改版为SAE AMS 2750D，2012年7月改版为SAE AMS 2750E，SAE AMS 2750D与SAE AMS 2750E的结构、内容和技术要求变化不大。SAE AMS 2750D影响很大，不仅美国热处理行业都采用这项标准，成为热处理加工企业资质考核Nadcap认证的依据，而且在世界范围内都认同这项标准，在国际合作中都以这项标准为依据。我国在航空工业国际合作和转包生产中已采用了SAE AMS 2750D，有一半以上企业通过Nadcap认证。在汽车热处理生产推行的AIA G CQI-9热处理系统评估中也要求按SAE AMS 2750D规定执行，其他行业如风力发电、轴承等行业国际合作或产品出口都要求执行SAE AMS 2750D。因此有必要制定相关国标，以便使我国热处理行业发展适应国际热处理潮流。另一方面，航空企业热处理已有一半以上在国际合作通过了Nadcap认证，汽车和风电零备件、轴承等加工国际合作中也有一些企业贯彻了SAE AMS 2750D，积累了很多经验。我国热处理设备制造厂也生产了许多符合SAE AMS 2750D的热处理装备，满足了国内热处理加工企业实施SAE AMS 2750D的需求。因此，目前有良好条件制定与SAE AMS 2750E相当的高水平《热处理温度测量》国家标准。

2. 国内外标准概况及分析

在热处理温度测量方面，国外有不少相关标准，但SAE AMS 2750E被世界热处理行业认可，普遍、广泛采用。我国没有专门的关于热处理温度测量标准，但在关于热处理质量控制的标准中也涉及相关内容，如GJB 509B—2008《热处理工艺质量控制》、GB/T 9452—2012《热处理炉有效加热区测定方法》、HB 5354—1994《热处理工艺质量控制》、HB 5425—1989《航空制件热处理炉有效加热区测定方法》，以及JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》等。

美国与日本关于热处理温度测量方面标准相差不大，以SAE AMS 2750E最具有代表性；我国上述相关标准内容相似，以航空工业标准要求最高。下面以SAE AMS 2750E与HB 5354—1994做一些比较。

（1）主要内容。从表4.2-1可以看出，HB 5354内容比SAE AMS 2750E范围广泛，包括了“人机料法环”质量控制全部内容；SAE AMS 2750E主要内容包括温度传感器、仪表、热工艺设备、系统精度校验、温度均匀性测量等，与HB 5354第2章设备及仪表内容对应，SAE AMS 2750E的记录与HB 5354第6章文件与资料对应。我国标准中尚没有与SAE AMS 2750E对应的标准。

（2）热处理设备。从表4.2-2看出，SAE AMS 2750E的热处理炉分类、仪表、温度均匀性测量、系统精度校验等方面都比HB 5354要求高。热处理炉分类，SAE AMS 2750E分为6类，HB 5354分为5类；1～5类炉子的温度均匀性，SAE AMS 2750E要求高于HB 5354。仪表方面，SAE

AMS 2750E 在仪表配置、精度等级和检定周期、记录仪分辨率等方面都比 HB 5354 要求高。温度均匀性方面，SAE AMS 2750E 要求高于 HB 5354，检定周期除第 1 类炉两者一样之外，其他炉子类别 SAE AMS 2750E 要求检定周期短于 HB 5354。系统精度校验方面，SAE AMS 2750E 与 HB 5354 要求相差不大，但检验周期 HB 5354 要求高于 SAE AMS 2750E。

表 4.2-1　HB 5354—1994 和 SAE AMS 2750E 章节比较

章节	HB 5354—1994	SAE AMS 2750E	章节	HB 5354—1994	SAE AMS 2750E
1	环境	温度传感器	5	人员	温度均匀性测量
2	设备及仪表	仪表	6	文件与资料	实验炉
3	工艺材料	热工艺设备	7	—	记录
4	工艺	系统精度校验	8	—	数值修约

表 4.2-2　HB 5354—1994 和 SAE AMS 2750E 对热处理炉要求比较

项目		HB 5354—1994	AMS 2750E
热处理炉分类		Ⅰ类炉　±3℃ Ⅱ类炉　±5℃ Ⅲ类炉　±10℃ Ⅳ类炉　±15℃ Ⅴ类炉　±20℃	1 类炉　±3℃ 2 类炉　±6℃ 3 类炉　±8℃ 4 类炉　±10℃ 5 类炉　±14℃ 6 类炉　±28℃
仪表	仪表类型	没有类别区分 每个控制区 1 支传感器用于控制；另 1 支用于记录。其中一个仪表具有报警和保护功能。相当于 SAE AMS 2750E 的 D 类仪表	A 类：每个控制区传感器，1 支用于控制、记录；最高温度点和最低温度点各 1 支用于记录；载荷 1 支用于记录；超温保护 1 支 B 类：每个控制区传感器，1 支用于控制、记录；载荷 1 支用于记录；超温保护 1 支 C 类：每个控制区传感器，1 支用于控制和记录；最高温度点和最低温度点各 1 支用于记录；超温保护 1 支 D 类：每个控制区传感器，1 支用于控制和记录；超温保护 1 支 E 类：每个控制区传感器，1 支用于显示和控制 冷处理设备和淬火系统仪表；1 支传感器用于控制，有要求时增加记录
	要求	控温仪表　　记录仪表 Ⅰ类炉　±1.0℃　0.2 级 Ⅱ类炉　±1.5℃　0.5 级 Ⅲ类炉　±5℃　0.5 级 Ⅳ类炉　±8℃　0.5 级 Ⅴ类炉　±10℃　0.5 级	数字仪表　±1.1℃ 电动机械仪表　±1.1℃或 ±0.3% 机械或热敏元件　±3℃（限用于冷处理设备和淬火系统）
	检定周期	Ⅰ类炉　每季 Ⅱ～Ⅳ类炉　每半年 Ⅴ类炉　1 年	数字仪表　电动机械仪表 1 类炉　每周　每月 2 类炉　每季　每月 3～4 类炉　每季　每季 5～6 类炉　半年　每季

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">项目</th><th>HB 5354—1994</th><th colspan="4">AMS 2750E</th></tr>
<tr><td rowspan="4">仪表</td><td>记录刻度或分辨率</td><td>Ⅰ类炉 2℃/mm
Ⅱ类炉 4℃/mm
Ⅲ类炉 5℃/mm
Ⅳ类炉 6℃/mm
Ⅴ类炉 8℃/mm</td><td colspan="4">每毫米的度数 每间增量
1 类炉 1.1℃/mm 1℃/线
2 类炉 3.3℃/mm 3℃/线
3 类炉 3.3℃/mm 3℃/线
4 类炉 5.5℃/mm 5℃/线
5 类炉 5.5℃/mm 5℃/线
6 类炉 7.7℃/mm 15℃/线</td></tr>
<tr><td rowspan="3">打印或走纸速度</td><td rowspan="3"></td><td></td><td>打印间隔</td><td colspan="2">走纸速度</td></tr>
<tr><td>圆周型</td><td rowspan="3"><15min/次
≥6 次/循环</td><td>温度循环<1h 时，≤8h/圈</td><td>温度循环≥1h 时，≤24h/圈</td></tr>
<tr><td>长图型</td><td>温度循环<1h 时，≥50.8mm/h</td><td>温度循环≥1h 时，≥25.4mm/h</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>数字型</td><td colspan="2">不适用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">温度均匀性测量</td><td>要求</td><td>Ⅰ类炉 ±3℃
Ⅱ类炉 ±5℃
Ⅲ类炉 ±10℃
Ⅳ类炉 ±15℃
Ⅴ类炉 ±20℃</td><td colspan="4">1 类炉 ±3℃
2 类炉 ±6℃
3 类炉 ±8℃
4 类炉 ±10℃
5 类炉 ±14℃
6 类炉 ±28℃</td></tr>
<tr><td>检测周期</td><td>Ⅰ类炉 每月
Ⅱ~Ⅳ类炉 每半年
Ⅴ类炉 每年</td><td colspan="4">1、2 类炉 A~D 类仪表：每月
3~5 类炉 A~D 类仪表：每季
6 类炉 E 类仪表： 每年</td></tr>
<tr><td rowspan="2">系统精度校验</td><td>要求</td><td>Ⅰ、Ⅱ类炉 ±1℃
Ⅲ~Ⅴ类炉 ±3℃</td><td colspan="4">1 类炉 ±1.1℃
2 类炉 ±1.7℃
3、4 类炉 ±2.2℃
5 类炉 ±2.8℃
6 类炉 ±5.6℃</td></tr>
<tr><td>校验周期</td><td>每周</td><td colspan="4">1 类炉 A 类仪表 2 周，B~D 类仪表每周
2 类炉 A 类仪表每月，B、C 类仪表每 2 周，D 类仪表每周
3~5 类炉 A 类仪表每季，B、C 类仪表每月，D 类仪表每 2 周
6 类炉 E 类仪表半年</td></tr>
</table>

（3）温度传感器。两个标准对热电偶要求比较见表 4.2-3、4.2-4，从两表的比较可以看出：

1）HB 5354 对热电偶要求较低，也没有根据炉子类型和用途分类选用。例如，对热处理炉配套的控温、记录、监测热电偶，SAE AMS 2750E 的 1、2 类炉子要求允差为 ±1.1℃或 0.4%t，高温热电偶对应 S 型Ⅱ级或 B 型Ⅱ级，中低温热电偶没有合适对应热电偶。又如，系统精度校验要求使用更高精度的热电偶，要求廉金属偶 ±1.1℃或 ±0.4%t，贵金属偶 ±0.6℃或 ±0.1%t。对比国产热电偶，高温热电偶只能选国产标准级热电偶，中低温热电偶只能选标准级更高等级热电偶。我国非标准级热电偶允差等级见表 4.2-5。

2）HB5354 推荐热电偶种类不全，高温热电偶无 R 型，中温热电偶无 N 型，低温热电偶无 J 型。

3）从校准周期看，SAE AMS 2750E 要求更高。温度均匀性测量和系统精度校验用热电偶校准周期，S、R、B 型 6 个月，J、N 型 3 个月，其他偶不能校准。载荷热电偶使用廉金属偶时不允许校准使用。而 HB 5354 中热电偶都是可校准使用的。

表 4.2-3　SAE AMS 2750E 传感器和传感器校准要求

传感器	传感器类型①③	用途	校准④⑤		最大允许误差②③
			周期	对照物	
参考标准	R 和 S 型贵金属	一级标准校准	5 年	NIST⑥/参考标准	无
一级标准	R 和 S 型贵金属	二级标准校准	3 年	参考标准	±0.6℃或±0.1%t
二级标准	廉金属或 R 和 S 型贵金属	测试传感器校准	首次使用前重新校准；1 年—廉金属；2 年—R 或 S 型	一级标准	廉金属：±1.1℃或±0.4%t 贵金属：±1℃或±0.25%t
	B 型贵金属		首次使用前重新校准；2 年—B 型		±0.6℃或±0.5%t，B 型
炉温均匀性测量	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	温度均匀性测量	首次使用前重新校准⑦⑧；6 个月—B、R 或 S 型贵金属；3 个月—J 或 N 型；不允许—其他廉金属	一级或二级标准	±2.2℃或±0.75%t
系统精度校验	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	系统精度校验	首次使用前重新校准⑧；6 个月—B、R 或 S 型贵金属；3 个月—J 或 N 型；不允许—其他廉金属	一级或二级标准	廉金属：±1.1℃或±0.4%t； 贵金属：±1℃或 R、S 型，±0.25%t B 型，±0.5%t
控制、记录和监测	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	安装在设备中	首次使用前	一级或二级标准	1 类或 2 类炉：±1.1℃或±0.4%t 3 类至 6 类炉：±2.2℃或±0.75%t
载荷	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	测量载荷	首次使用前重新校准；B、R 或 S 型—6 个月；其他廉金属—不允许	一级或二级标准	±2.2℃或±0.75%t

① 允许用精度相同或更高精度（最高允许误差）的温度传感器。
② 读数的百分数或修正值以（℃）表示，以大者为准。
③ T 型热电偶通常用于 0℃以下，具有±0.6℃或±0.8%的容差，以大者为准。
④ 在相应章节规定了重新校准的要求。
⑤ 参考标准传感器可以用于校准任何低一级传感器。
⑥ 国家标准。
⑦ 例外情况见相关章节。
⑧ 对易耗型或耐久型廉金属传感器的要求见相应章节。

表 4.2-4　HB5354—1994 对现场使用的热电偶技术要求

名称	分度号	等级	使用温度/℃	允许偏差[①]/℃	检定周期[②]
标准铂铑 10-铂热电偶	S	Ⅱ等标准	—	±0.9	一年
检测镍铬-镍硅热电偶	K	Ⅰ等标准	0～400	±1.6	三个月
			400～1100	±0.47%*t*	
铂铑 10-铂	S	Ⅰ	0～1100	±1	一年
			1100～1600	±［1＋（t－1100）×0.003］	
		Ⅱ	0～600	±1.5	
			600～1600	±0.25%*t*	
铂铑 10-铂铑 6	B	Ⅱ	600～1700	±0.25%*t*	半年
		Ⅲ	800～1700	±0.25%*t*	
镍铬-镍硅	K	Ⅱ	0～400	±3.0	半年
		Ⅱ	400～1100	±0.75%*t*	
铜-康铜	T	Ⅱ	－40～＋350	±1.0	半年
		Ⅲ	－200～＋40	±1.0 或 ±0.15%*t*	
镍铬-康铜	E	Ⅰ	－400～＋800	±1.5 或 ±0.4%*t*	半年
		Ⅱ	－40～＋900	±2.5 或 ±0.75%*t*	

① 表中 *t* 为测量温度（℃）。

② 允许按实际需要缩短检定周期。

表 4.2-5　我国非标准级热电偶允差等级（GB/T 16839.2—1997）　（单位：℃）

类型	允差	1 级允差		2 级允差		3 级允差	
T 型	温度范围	－40～＋125	125～350	－40～＋133	133～350	－67～＋40	－200～－67
	允差值	±0.5	±0.004*t*	±1	±0.0075*t*	±1	±0.015*t*
E 型	温度范围	－40～＋375	375～800	－40～＋333	333～900	－167～＋40	200～－167
	允差值	±1.5	±0.004*t*	±2.5	±0.0075*t*	±2.5	±0.015*t*
J 型	温度范围	－40～＋375	375～750	－40～＋333	333～750		
	允差值	±1.5	±0.004*t*	±2.5	±0.0075*t*		
K 型、N 型	温度范围	0～＋375	375～1000	－40～＋333	333～1200	－167～＋40	－200～－167
	允差值	±1.5	±0.004*t*	±2.5	±0.0075*t*	±2.5	±0.015*t*
R 型、S 型	温度范围	0～1100	1100～1600	0～600	600～1600		
	允差值	±1	±[1＋0.003(*t*－1100)]	±1.5	±0.0025*t*		
B 型温度	温度范围			600～1700		600～800	800～1700
	允差值			±0.0025*t*		±1	±0.005*t*

（4）现场测试仪表。SAE AMS 2750E 对现场测试仪表（温度均匀性测量、系统精度校验等）提出了严格要求，如表 4.2-6 所示，要求精度 ±1℃或 ±0.25%*t*；而 HB 5354 温度均匀性测量仪表精度要求高于或等于生产中使用的仪表的精度，大部分为 0.5 级。在校验周期方面，SAE AMS 2750E 要求 3 个月，HB 5354 没有明确规定。

综上所述，SAE AMS 2750E 各项技术要求指标均高于 HB 5354—1994，所以为了促进我国机械装备制造业发展，实现与国际接轨，必须有更高水准的热处理标准。国际上认可的热处理温度测量

方面的先进标准就是SAE AMS 2750E，因此参考该标准，结合我国的情况和经验，制定相应的国家标准非常迫切。

表 4.2-6 SAE AMS2750E 现场测试仪表要求

仪表	仪表类型	最大校准周期	校准	校准精度	用 途
现场测试仪表	便携式系统精度校验/温度均匀性测量电位计或数字仪表、电子数据记录仪或数据采集系统	3月	一级或二级校准	±0.6℃或读数的±0.1% t，以大者为准	仅限于控制、监测或记录仪表校准、进行系统精度校验和温度均匀性测量

3. 标准的关键创新点

（1）热处理炉类别增加了ⅢA（±8℃）炉型。近年来，我国研究和发展了很多高性能材料，如沉淀硬化型不锈钢、高合金超高强度钢等，采用的热处理工艺要求是温度允差±8℃，为适应这种需求，所以本标准增加了±8℃炉型，为了保持我们传统的热处理炉类别体系，把这种炉型定为ⅢA类。ⅢA类型炉子的控温仪表、记录仪表、有效加热区测定周期、仪表检定周期等技术要求均与Ⅲ类型炉子相同，这与GB/T 9452—2012《热处理炉有效加热区测定方法》保持一致，同时也与国际相关标准保持一致，以便与国际接轨。如表4.2-7所示，SAE AMS 2750D热处理炉分为六类，Ⅲ类炉子温度允差±8℃；JIS B 6901分为七类，Ⅲ类炉子温度允差±7.5℃；本标准分为七类，ⅢA类型炉子温度允差±8℃。

表 4.2-7 热处理温度测量分类

SAE AMS 2750E		JIS B 6901		JB/T 10175		GB/T 30825	
类别	温度均匀性/℃	类别	温度均匀性/℃	类别	温度均匀性/℃	类别	温度均匀性/℃
Ⅰ	±3	Ⅰ	±3	Ⅰ	±3	Ⅰ	±3
Ⅱ	±6	Ⅱ	±5	Ⅱ	±5	Ⅱ	±5
—	—	—	—	—	—	ⅢA	±8
Ⅲ	±8	Ⅲ	±7.5	Ⅲ	±10	Ⅲ	±10
Ⅳ	±10	Ⅳ	±10	Ⅳ	±15	Ⅳ	±15
Ⅴ	±14	Ⅴ	±15	Ⅴ	±20	Ⅴ	±20
Ⅵ	±28	Ⅵ	±20	Ⅵ	±25	Ⅵ	±25
—	—	Ⅶ	±25	—	—	—	—

（2）在我国热处理标准中首次提出了对热处理设备的仪表系统的要求。先进技术和新材料发展对热处理质量提出了更高要求，从而热处理的温度准确度控制也提出了更多和更高要求。热处理设备不但要进行控温记录系统精度校验和温度均匀性测定，还要监控加热时有效加热区的最高和最低温度点，以及工件的温度，因此对热处理炉的温度仪表系统提出了各种不同的要求。本标准在我国热处理标准中首次提出了对热处理设备的仪表系统的要求。本标准规定根据对仪表系统种类和数量的不同要求，分为A、B、C、D、E、F类共六种类型。以前我国热处理标准中规定的仪表系统一般属于本标准的D类。

（3）系统完善地规定了热处理设备的温度系统精度校验，提高了可操作性。本标准从系统精度校验精度和最大允许调整量要求、实施条件、校验周期、校验程序、校验报告等方面详细规定了热处理设备的温度系统精度校验要求，并列举了常见的五种情况实际操作和计算、判定的例子，使

热处理设备的温度系统精度校验技术在我国全面实施有了依据和保证。

（4）对热处理设备温度均匀性提出了更高要求。本标准中热处理设备温度均匀性测量分为初始测量、周期测量和延长周期测量三种。初始测量实施条件按 GB/T 9452 有关规定执行。周期测量的周期时间与设备的仪表系统类型有关，一般都比 GB/T 9452 要求要短。温度均匀性测量连续合格可以适当延长测量周期，称为延长周期测量。另外，温度均匀性测量周期的时间还允许有一定的超过时间。本标准规定周期式炉温度均匀性测量采用体积法检测，连续炉温度均匀性测量可以采取体积法、单元体积法或平面法检测。连续炉或有炉罐的炉子可以采用直插法或性能评价法代替检测方法，对于铝合金固溶处理的空气炉，当其热源（例如：电热元件或燃气辐射管）位于炉壁上，应在炉子温度均匀性鉴定合格的最高使用温度进行补充热辐射测试。

（5）对热处理设备用热电偶和仪表要求高，校准要求严。本标准中热处理设备用热电偶根据使用温度可以选用贵金属 S、R、B 型热电偶、廉金属 N、K、J、T、E 型热电偶及铂电阻。温度传感器应在其使用的温度范围内校准。所有温度传感器的校准间隔不应超过 140℃。禁止在 260℃以上使用过的 K 型和 E 型热电偶重校，禁止易耗型廉金属热电偶重校。高于最高校准温度和低于最低校准温度时，禁止采用校准修正值外推法。本标准中热处理设备用仪表可用数字仪表、电子机械仪表，而机械式或热仪表仅限于热加工设备、冷处理设备和淬火槽的温度测量。控制、监测和记录仪表准确度要求 ±1.1℃或设备最大测量温度的 ±0.3%，以大者为准，现场测试仪表准确度要求 ±0.6℃或读数的 ±0.1%，以大者为准。

二、标准应用说明

1. 编制原则

（1）坚持国际先进水平。编制的国家标准中包括 SAE AMS 2750E 相应内容，并保持相应的技术水平。

（2）国际化原则。标准中，一律采用国际单位制。标准中的名词术语也采用国际通用描述，并与相应国际保持一致。

（3）结合我国实际情况。编制本标准是为了促进和推动我国热处理行业发展和进步，实现与国际接轨。为此，在达到 SAE AMS 2750E 标准的前提下，列出了我国可满足的相关标准的内容，以便正确选用，有利于本标准的贯彻实施。编排顺序先提设备和仪表系统、系统精度校验、温度均匀性测量要求，再到温度传感器、仪表要求，体现先宏观再微观的原则。不同于 SAE AMS 2750E 温度传感器、仪表、热加工设备、系统精度校验、温度均匀性测量的编排顺序。

（4）严格按 GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》编写，标准结构不同于 SAE AMS 2750E 标准。

2. 适用范围

本标准适用于高要求热处理和国际合作热处理。对于目前热处理生产，仍按相应的标准执行。本标准不适用于单纯的加热和原材料生产厂为改善后续工序的中间热处理。

3. 标准主要内容的确定

（1）标准名称。本标准名称为《热处理温度测量》，英文为 Pyrometry for Heat Treatment。一方面概括了本标准全部内容，另一方面与 SAE AMS 2750E 名称 Pyrometry 不同又保持有关联，以便于国际交流和合作。

（2）范围。本标准适用于高要求的材料和零件热处理，不适用于单纯加热和材料生产过程中的中间热处理，其他热加工工艺也可参考执行。因为随着科学技术进步和发展，有不少零件使用状态和性能在材料生产厂已完成或部分完成，如铝合金、钛合金、沉淀硬化型不锈钢、高温合金、模

具钢等，所以必须控制原材料的热处理，本标准中包括了原材料最终热处理的要求，而不包括单纯加热和材料生产过程中的中间热处理。在各种热加工工艺中温度测量都很重要，热处理的温度测量要求更重要、要求较高，所以其他热加工工艺（如钎焊、复合材料热成型等）也可参考使用本标准。这一点与 SAE AMS 2750E 适用于热加工保持一致。

（3）规范性引用文件。规范性引用文件包括热处理工艺和设备术语、热处理炉有效加热区测定方法等标准，还列出了热电偶和热电阻、补偿导线、仪表相关标准和相应的检定规程、校准规范，其目的是使本标准立足国内，有良好的可操作性。

（4）热处理炉类别。本标准热处理炉类别 7 类，与 SAE AMS 2750E 的相对应关系如表 4. 2-8 所示。本标准除Ⅳ类炉 ±15℃低于 SAE AMS 2750E 的 5 类炉 ±14℃之外，其他各炉型温度均匀性均优于 SAE AMS 2750E。如果某种热处理工艺坚持 ±14℃要求，我们可以选择温度均匀性更好的Ⅲ类炉（±10℃）。

表 4. 2-8　本标准与 SAE AMS 2750E 炉型对应关系

本标准		SAE AMS 2750E	
炉型	温度均匀性/℃	炉型	温度均匀性要求/℃
Ⅰ	±3	1	±3
Ⅱ	±5	2	±6
ⅢA	±8	3	±8
Ⅲ	±10	4	±10
Ⅳ	±15	5	±14
Ⅴ	±20	—	—
Ⅵ	±25	6	±28

（5）仪表系统分类。本标准提出了热处理设备仪表系统配置要求，这一部分主要是参照 SAE AMS 2750E 编写的。SAE AMS 2750E 仪表系统分为 A、B、C、D、E 型及冷处理设备和淬火系统 6 种类型，本标准把冷处理及淬火设备仪表系统定义为 F 型，这样本标准仪表系统分为 A、B、C、D、E、F6 种类型，两者相对应。值得提出的是，由于近年冷处理和深冷处理工艺使用不断增加，对设备要求不断提高，所以本标准提出冷处理设备应有一个温控仪和温度传感器，有时间要求时要配记录仪。另外，对淬火槽应配分辨率≤5℃的测温指示仪表，对淬火冷却介质有温度控制要求，应配温度控制、记录仪表和温度传感器。这两点要求均高于 SAE AMS 2750E。

（6）系统精度校验（SATs）。本标准中“SATs”是英文“System Accuracy Tests”的缩写。

本标准关于系统精度校验主要内容与 SAE AMS 2750E 相同，按 GB/T 1. 1 编写，编排上与 SAE AMS 2750E 不同，如表 4. 2-9 所示，并且把系统精度校验修正计算例子的表以资料性附录形式放在标准文本之后。

表 4. 2-9　系统精度校验方面本标准与 SAE AMS 2750E 对比

本标准名节名称	AMS 2750E 各节名称和内容
系统精度校验和最大调整量要求	实施条件
实施条件	校验周期
校验周期	系统精度校验免除
校验程序	校验程序
校验报告	系统精度校验仪表和传感器
	记录

（7）温度均匀性测量（TUS）。本标准中“TUS”是英文“Temperature Uniformity Surveys”的缩写。

本标准中温度均匀性测量是为满足高要求热处理、国际合作中热处理而提出来的。它与 GB/T 9452、HB 5425 不同，但互相有联系各有侧重，互相补充形成我国标准系统。GB/T 9452 主要为 JB/T 10175、GJB 509B 及相关工艺标准技术支持和配套。HB 5425 主要为 HB 5354、GJB 509B 中高端产品热处理及相关工艺标准技术支持和配套。GB /T 9452、HB 5425 和本标准中温度均匀性测量是三个不同档次的标准，GB/T 9452 是基础，是基本要求，HB 5425 侧重于航空工业特殊要求，本标准适应高要求热处理和国际合作中热处理，要求更高。在 GB/T 9452 修订和编制本标准过程中既要考虑发挥 GB/T 9452 基础性作用，又要体现本标准的更高要求，在 GB/T 9452 修订中突出共性要求，编制本标准重点列出更高要求，体现两者有机结合和联系。

本标准温度均匀性测量和 GB/T 9452、SAE AMS 2750E 章节目录对比见表 4. 2-10。从表 4. 2-10 可以看出，本标准温度均匀性测量与 GB/T 9452 协调一致。GB/T 9452 中实施条件、检测装置、检测报告等本标准全部采用，本标准在温度均匀性测量方面更高要求反映在测量周期、检测点数量和位置、测量温度、数据采集频率和时间、替代方法、补充辐射测量等方面。本标准温度均匀性测量因为包括了 GB/T 9452 内容和更高要求，完全达到了 SAE AMS 2750E 技术要求。

表 4. 2-10　温度均匀性测量章节目录对比

本标准	GB/T 9452	SAE AMS 2750E
热处理炉温度均匀性要求	热处理炉按温度均匀性分类	实施条件和测定周期
实施条件和测量周期	实施条件和测定周期	测量温度
检测装置	检测位置	检测方法
检测方法	检测方法	判定
替代方法	有效加热区的评定	测量报告
补充辐射测量	检测报告	
温度均匀性判定	管理	
检测报告		

另外，本标准温度均匀性测量部分与 SAE AMS 2750E 相比，有如下不同：

1）检测点位置借鉴 GB/T 9452 采用图示法表示，表达更清楚，便于操作。

2）数据采集频率和时间借鉴 GB/T 9452 的表格形式，如表 4. 2-11 所示，更简洁，容易掌握。

表 4. 2-11　温度均匀性测量数据采集周期和时间

炉　　型	周期式热处理炉	连续式热处理炉	
生产中记录温度周期/min	≤2	>2	—
数据采集周期/min	≤2	2 ~6	≤2
数据采集时间或次数	30min	3 次	

3）根据 GB/T 13324《热处理设备术语》，浴炉包括盐浴炉、液态金属浴炉、油浴炉及其他温度受控的液体介质加热炉，把 SAE AMS 2750E 中盐炉、温度控制液体炉合并为浴炉。

（8）温度传感器。为了提高本标准的实用性和可操作性，在温度传感器一章要求温度传感器和补偿导线执行国家标准和相应的检定、校准规程，必须检定合格，在有效期内使用，并提供误差修正值。

与 SAE AMS 2750E 相比有如下不同：

1）去掉热电偶和补偿导线组分、颜色编码的有关规定，提出了补偿导线使用高质量级。

2）保留热电偶成卷校准的规定，但提出前提条件是“经验证热电偶丝材质量稳定性和均匀性优良”。

3）增加了铂电阻温度计内容，以适应冷处理、深冷处理和冷藏不断增加的需要。

4）增加“一般采用耐久型热电偶或热电阻温度计作控制、监测和记录温度传感器”的规定。

（9）仪表。近年仪器仪表发展很快，在数字化、智能化方面有很大进步和发展，所以本标准规定可以使用数字仪表、电子数据记录仪或数据采集系统，但要电子记录必须是一次性写入、只读的、仅检测不能修改的记录。

（10）管理。本标准第9章为管理，包括记录保存规定和保证措施两部分。各种规定记录需保存5年以上。加工方负责本标准规定的测试和校准，委托方有权查验；仪表、温度传感器，测量必须符合本标准，否则不得使用；任何测量失效或超差及纠正措施都必须有记录，对最后一次合格之后处理的产品进行评估，并进行相应的符合性测量以保证热处理产品质量。

（11）实验室炉。实验室炉主要用于按材料规范进行热处理试验，一般不用于工件或原材料的热处理。如果用于工件或原材料的热处理，必须符合本标准的所有要求，按生产设备进行配置和测试。实验室炉一般采用载荷温度传感器的B型仪表系统、传感器、仪表及系统精度校验、温度均匀性测量周期都有特殊规定。

本标准对实验室炉没有单列一章，主要技术要求列在第四章热处理设备和仪表系统中4.3条。其他要求在相关章节分别列出，这一点不同于SAE AMS 2750E。（广东世创金属科技有限公司董小虹、梁先西，北京航空材料研究院王广生供稿）

三、标准内容（GB/T 30825—2014）

热处理温度测量

1 范围

本标准规定了热处理温度测量要求，包括热处理设备和仪表系统分类、系统精度校验、温度均匀性测量、温度传感器、仪表以及管理等方面要求。

本标准适用于高要求的零件和材料热处理，不适用于单纯加热和材料生产过程中的中间热处理。其他热加工工艺也可以参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1598 铂铑10-铂热电偶丝、铂铑13-铂热电偶丝、铂铑30-铂铑6热电偶丝

GB/T 2614 镍铬 镍硅热电偶丝

GB/T 2903 铜-铜镍（康铜）热电偶丝

GB/T 3386.1 工业过程控制系统用 电动或扭动模拟记录仪 第1部分：性能评定方法

GB/T 4989 热电偶用补偿导线

GB/T 4990 热电偶用补偿导线合金丝

GB/T 4993 镍铬-铜镍（康铜）热电偶丝

GB/T 4994 铁-铜镍（康铜）热电偶丝

GB/T 5977 电阻温度计用铂丝

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 13324　热处理设备术语

GB/T 16839.1　热电偶　第 1 部分：分度表

GB/T 16839.2　热电偶　第 2 部分：允差

GB/T 17615　镍铬硅—镍硅镁热电偶丝

GB/T 18404　铠装热电偶电缆及铠装热电偶

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1　原材料热处理炉　raw material furnaces for heat treatment

按照热处理规范要求进行原材料（如板材、棒材、型材、锻件、铸件等）生产中最终热处理使用的设备。

3.2　工件热处理炉　manufacturing part furnace for heat treatment

按热处理规范要求，零件制造过程中对工件（如零件、半成品件、毛坯件或原材料等）进行热处理所用的设备。

3.3　系统精度校验　system accuracy tests；SATs

热处理设备的工艺仪表系统（控制、监测、记录仪表和温度传感器、补偿导线组成的系统）经合理补偿的温度与经过校验和偏差修正的测量仪表系统（测试仪表、温度传感器、补偿导线组成的系统）的温度进行现场比较，以确定工艺仪表系统所测量温度偏差是否符合要求的测试。

3.4　最大允许调整量　maximum permitted adjustment

在系统精度校验时，如果被校验的工艺仪表系统精度已超过允许偏差而又要进行修正，可以使工艺仪表系统的温度读数与已校准测试仪表系统温度读数保持一致的最大允许调整值。

3.5　温度均匀性测量　temperature uniformity survey；TUS

在热处理炉热稳定前后，用已校准的现场测试仪和温度传感器对炉子有效加热区的温度偏差进行的一系列检测。

3.6　试块　heat sink

在温度均匀性测量期间可以使用的一块与热处理零件最薄部分相当、传热性能相近的样品。

3.7　廉金属热电偶　base metal thermocouple

热电元件由廉金属及其合金组成的热电偶。廉金属热电偶包括 K、N、E、J 和 T 型热电偶。

3.8　贵金属热电偶　noble metal thermocouple

热电元件主要由贵金属及其合金组成热电偶。贵金属热电偶包括 S、R 和 B 型热电偶。

3.9　易耗型热电偶　expendable thermocouples

由纤维或塑料包覆金属丝制成的热电偶。该热电偶成卷或在卷轴上供应。绝缘层一般是由包覆在偶丝上的玻璃或陶瓷纤维织物、外加玻璃纤维编织物外层组成。

3.10　耐久型热电偶　nonexpendable thermocouples

不包覆纤维或塑料绝缘层的热电偶。包括陶瓷绝缘层包覆外加套管保护（大多数）的热电偶和铠装热电偶。

3.11　载荷温度传感器　load temperature sensor

连接到工件、模拟件或原材料上，为工艺仪表提供工件或原材料温度信息的温度传感器。

3.12　测试温度传感器　test temperature sensor

与测试仪一起用于进行系统精度校验和温度均匀性测量的温度传感器。

3.13　灵敏度　sensitivity

引起仪表上、下行变化的温度输入变化量。

3.14 记录仪表 recording instrument

与控制或记录、监测、载荷温度传感器连接，指示热处理工艺设备温度数据并生成永久的工艺记录的仪表。例如图表记录仪、电子数据记录仪或数据采集系统。

3.15 测试仪表 test instrument

用于进行系统精度校验、温度均匀性测量，或校准控制仪、记录仪、数据采集仪表或监测仪表的仪表。

3.16 监测仪表 monitoring instrument

连接到控制、监测、载荷或记录温度传感器的仪表，用于指示工艺设备温度。例如指示仪、图表记录仪、电子数据记录仪或数据采集系统。

4 热处理设备和仪表系统分类

4.1 热处理炉类别

热处理炉按有效加热区的温度均匀性分为7类，如表1所示。

表1 热处理炉分类

热处理炉类别	Ⅰ	Ⅱ	ⅢA	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
温度均匀性要求/℃	±3	±5	±8	±10	±15	±20	±25

4.2 仪表系统类型

热处理炉仪表系统类型根据温度控制、记录或显示仪表及温度传感器配置要求确定，分为A、B、C、D、E、F型，如表2所示。

表2 热处理炉仪表系统类型和技术要求

仪表类型对温度传感器和仪表配置的要求	仪表系统类型					
	A	B	C	D	E	F①②③
每个控制区至少应有一支控制温度传感器，与控制和显示温度的控制仪表相连接，用于控制和显示温度	√	√	√	√	√	√
每个控制区的控制温度传感器指示的温度应由一个记录仪表记录。也可以单设一支记录温度传感器，与记录仪表相连接，该记录温度传感器与控制温度传感器具有相同保护管，其测量端距离≤10mm	√	√	√	√	—	—
每个控制区至少应有另外两支记录温度传感器，放置于最近一次温度均匀性测量结果得出的最低和最高温度的位置或尽量靠近最低和最高温度的位置	√	—	√	—	—	—
每个控制区至少应放置一支记录载荷温度传感器，未放工件的空置的区不要求载荷温度传感器	√	√	—	—	—	—
每个控制区应有超温保护系统。最高温度位置的温度传感器也可以用作超温保护温度传感器	√	√	√	√	—	—

注：对于A、B、C型仪表系统的真空炉，在确定最高温度、最低温度及载荷温度传感器时，有效加热区体积≤6.4m^3可视为一个控制区；有效加热区体积>6.4m^3可视为由若干个有效加热区体积≤6.4m^3的区域组成，每个有效加热区体积≤6.4 m^3可视为一个控制区。

① F型仪表系统指冷处理设备及淬火设备仪表系统。

② 纯液氮、干冰和干冰-液体冷处理设备不要求温度控制仪和传感器。如果冷处理设备用于在某温度下的时间有要求的处理时，则该冷处理或冷藏设备应配备温度记录仪。

③ 淬火槽应装有分辨率≤5℃的测温指示仪表，对于有淬火剂温度要求的淬火冷却系统，应配备温度传感器、控温仪表和记录仪表。

4.3　实验室炉

实验室炉用于按材料规范进行热处理试验，一般不用于工件或原材料的热处理，按 B 型仪表系统配置。如果用于工件或原材料的热处理，按生产设备进行配置和测试，应符合本标准的所有要求。

5　系统精度校验（SATs）

5.1　系统精度校验和最大允许调整量要求

工艺仪表系统精度、校验周期及最大允许调整量要求如表 3 和表 4 所示。

5.2　实施条件

5.2.1　用于工件和原材料生产的热处理设备的每一个控制区的温度控制和记录系统应进行系统精度校验。

5.2.2　具有 A、B 或 C 型仪表系统的监测仪表系统也应进行系统精度校验。

5.2.3　工件和原材料生产的热处理设备仪表系统应在使用前和定期进行系统精度校验。没有按规定定期进行系统精度校验的设备不能使用，重新使用前应进行系统精度校验。

5.2.4　进行了影响系统精度校验精度的任何维护之后（包括更换温度传感器、更换控制、监控、记录仪表和进行仪表调整后重新校准等）应重新进行系统精度校验。

5.2.5　对于只有超温控制功能的温度系统、一次性使用的载荷温度系统、更换周期短于系统精度校验周期的载荷温度系统、不用于热处理生产时验收工件的温度系统，不要求进行系统精度校验。

5.2.6　满足以下所有条件可以免除系统精度校验：

a）作为对于 A ~ D 型仪表系统的补充，在每个控制区至少有两支记录载荷温度传感器：一支用于监测，一支用于控制。对 A 和 B 型仪表系统，再有一支附加载荷温度传感器。对控制仪设定点的手工调整是根据观察到的载荷温度传感器读数作为实际控制的，在这种情况下，控制载荷温度传感器不必与控制仪连接；

b）使用的所有贵金属载荷热电偶是耐久型的，并且每季度重新校准或更换；

c）使用的所有廉金属控制和记录热电偶是每年更换；

d）使用的所有贵金属控制和记录热电偶是每两年更换；

e）当每周观察的记录载荷温度传感器读数与其他控制、监测和记录温度传感器读数之间有任何不可解释的差异时，载荷温度传感器应重新校准或更换。同时，每周的读数证明每个控制区的控制温度传感器和监测温度传感器读数的偏差保持在最近的温度均匀性测量时偏差的 1℃以内。

5.3　校验周期

5.3.1　热处理设备在新安装及大修后应按照表 3 或表 4 的要求定期进行系统精度校验。

表 3　工件热处理炉类别、仪表系统类型及系统精度要求和校验周期

炉子类别	温度均匀性/℃	系统精度校验最大误差②		最大允许调整量（补偿）①②③		系统精度校验周期④		
		温度/℃	读数的百分数（%）	温度/℃	最高工作温度的百分数（%）	仪表系统类型	正常系统精度校验周期	延长的系统精度校验周期
Ⅰ	±3	±1.1	0.2	±1.5	—	D	1 周	1 周
						B、C	1 周	2 周
						A	2 周	1 月
Ⅱ	±5	±1.7	0.3	±3	—	D	1 周	1 周
						B、C	2 周	1 月
						A	1 月	3 月

（续）

炉子类别	温度均匀性/℃	系统精度校验最大误差②		最大允许调整量（补偿）①②③		系统精度校验周期④		
		温度/℃	读数的百分数（%）	温度/℃	最高工作温度的百分数（%）	仪表系统类型	正常系统精度校验周期	延长的系统精度校验周期
ⅢA	±8	±2.2	0.4	±5	0.38	D	2周	1月
						B、C	1月	3月
						A	3月	6月
Ⅲ	±10	±2.2	0.4	±6	0.38	D	2周	1月
						B、C	1月	3月
						A	3月	6月
Ⅳ	±15	±2.8	0.5	±7	0.38	D	2周	1月
						B、C	1月	3月
						A	3月	6月
Ⅴ	±20	±2.8	0.5	±7	0.38	D	2周	1月
						B、C	1月	3月
						A	3月	6月
Ⅵ	±25	±5.6	1.0	—	0.75	E	6月	6月
冷处理设备、淬火槽	—	±2.8	—	±6	—	F	6月	6月

① 对于手工和电子方法最大允许调整量（补偿）相同。

② 以最大者为准（℃或读数的%）。

③ 系统精度校验和温度均匀性测试的补偿是独立的，对两者都是最大允许调整量。

④ 用于按材料规范进行热处理试验的实验室炉子，一般使用载荷温度传感器，系统精度校验每季度进行1次。

5.3.2 符合下列情况之一者，允许系统精度校验周期可以延长一级（例如，每周变为每两周，每两周变为每月等），如表3和表4所示：

a）每个控制区的两个温度传感器为B、S、R或N型；

b）每周读数证明：每个控制区的控制温度传感器和附加监测温度传感器或记录温度传感器之间偏差保持在最近的温度均匀性测量时偏差的1℃以内。

表4 原材料热处理炉类别、仪表类型及系统精度要求和校验周期

炉子类别	温度均匀性/℃	系统精度校验最大误差②		最大允许调整量（补偿）①②③		系统精度校验周期		
		温度/℃	读数的百分数（%）	温度/℃	最高工作温度的百分数（%）	仪表系统类型	正常系统精度校验周期	延长的系统精度校验周期/月
Ⅰ	±3	±1.1	0.2	±1.5	—	D	1周	1
						B、C	1月	3
						A	1月	3
Ⅱ	±5	±1.7	0.3	±3	—	D	1周	1
						B、C	1月	3
						A	1月	3

（续）

炉子类别	温度均匀性/℃	系统精度校验最大误差②		最大允许调整量（补偿）①②③		系统精度校验周期		
		温度/℃	读数的百分数（%）	温度/℃	最高工作温度的百分数（%）	仪表系统类型	正常系统精度校验周期	延长的系统精度校验周期/月
ⅢA	±8	±2.2	0.4	±5	0.38	D	2周	1
						B、C	1月	3
						A	3月	6
Ⅲ	±10	±2.2	0.4	±6	0.38	D	1月	3
						B、C	3月	6
						A	3月	6
Ⅳ	±15	±2.8	0.5	±7	0.38	D	1月	3
						B、C	3月	6
						A	3月	6
Ⅴ	±20	±2.8	0.5	±7	0.38	D	1月	3
						B、C	3月	6
						A	3月	6
Ⅵ	±25	±5.6	1.0	—	0.75	E	6月	6
冷处理设备、淬火槽	—	±2.8	—	±6	—	F	6月	6

① 对于手工和电子方法最大允许调整量（补偿）相同。

② 以最大者为准（℃或读数的%）。

③ 系统精度校验和温度均匀性测试的补偿是独立的，对两者都是最大允许调整量。

5.4　校验程序

5.4.1　温度传感器和仪表

系统精度校验的测试温度传感器应符合本标准第7章要求，测试仪表应符合本标准第8章要求。经检定合格并在有效期内，同时应提供修正值。

5.4.2　测试温度传感器安装

5.4.2.1　系统精度校验温度传感器的测量端应尽量靠近控制、监测和记录温度传感器的测量端，其距离应不大于76mm。后续的系统精度校验温度传感器应置于与初次系统精度校验时所使用的温度传感器相同的位置。

5.4.2.2　系统精度校验温度传感器可以是临时插入的，也可以是固定的。固定的系统精度校验温度传感器应符合下列条件：

a）固定的系统精度校验温度传感器用于温度超过260℃时应为B、S或N型，如果用于温度超过538℃时应为耐久型；

b）固定的系统精度校验温度传感器类型与被校验温度传感器类型不同。但R型热电偶和S型热电偶不能互相校验。

5.4.3　校验方法

5.4.3.1　在任一工作温度下，分别读取被校验仪表系统和测试仪表系统的直接温度读数。

5.4.3.2　对直接温度读数进行修正。被校验仪表系统无任何内部调整时不必修正，采用直接温度读数作为实际温度；如进行了内部调整时，应将直接温度读数与温度传感器修正值、仪表修正值代

数相加，求得修正读数作为实际温度。测试仪表系统直接温度读数与相应温度传感器和仪表修正值代数相加，求得修正读数为实际测试温度。

5.4.3.3 被校验温度系统（包括温度传感器、补偿导线和仪表）的实际温度与测试仪表系统的实际测试温度之间的差值，作为系统精度误差。举例如附录 A 所示。

5.4.3.4 如果在产品热处理生产过程中被校验仪表系统一直使用修正值，则计算系统精度误差时，某些修正值可以用代数法的方法应用于被校验仪表系统，但另外一些修正值不能用于被校验仪表系统。

a）可使用的修正值：

1）温度传感器最近一次校准的修正值；

2）控制和记录仪表最近一次校准的修正值；

3）为改善温度均匀性对控制和记录仪表进行的内部调整；

4）为修正系统精度误差，对控制和记录仪表进行的有意的人工补偿。

b）不可使用的修正值：

1）为修正系统精度误差，对控制和记录仪表内部的调整。这些内部的调整在显示或记录温度中已经反映，不能使用两次；

2）仅为纠正温度均匀性不对称分布，对控温仪表人工施加的补偿。这种人工补偿对系统精度的结果或系统精度误差的计算没有影响。

5.4.3.5 如果系统精度校验误差没有超过表 3 和表 4 规定的允许误差，应为合格，否则为不合格，并有文件记录。应确定误差超出原因并采取纠正措施。

5.4.4 纠正措施

系统精度校验误差超出后的纠正措施：

a）对控制和记录仪表进行表 3 和表 4 规定的最大允许调整量范围内的人工或内部调整；

b）如果全部或部分原因是被测试温度传感器从归档记录的位置移动，应将温度传感器恢复到原来的位置；

c）更换超差的热电偶、补偿导线；

d）重校超差的仪表；

e）在纠正措施生效后，进行新的热处理之前，应重新进行系统精度校验。

5.4.5 补救方法

系统精度校验误差超出后的补救方法：

a）用比系统精度校验周期相同或更短的周期替换被校验温度传感器，检查并缩小补偿导线和仪表组合偏差，使两者平衡，综合结果达到表 3 和表 4 要求；

b）分别测试温度传感器及补偿导线、仪表组合偏差，根据两者偏差值配对，综合结果达到表 3 和表 4 要求。

5.5 校验报告

系统精度校验报告包括如下内容：

a）被校验温度传感器的编号；

b）校验温度传感器的编号；

c）校验仪表的编号；

d）校验的日期和时间；

e）校验时炉子的温度设定点；

f）观察到的炉子仪表读数；

g）观察到的校验仪表读数；
h）校验温度传感器和校验仪表的修正值；
i）经修正的校验仪表读数；
j）计算的系统精度误差；
k）注明校验合格或不合格结论；
l）进行校验的测试审批人员签字；
m）系统精度校验机构名称；
n）校验机构代表人签字盖章。

6　温度均匀性测量（TUS）

6.1　一般要求

各类热处理炉温度均匀性要求见表1。温度均匀性测量除按 GB/T 9452 规定执行外，还应符合本标准要求。

6.2　实施条件和测量周期

6.2.1　温度均匀性测量分为初始测量和周期测量。初始测量实施条件按 GB/T 9452 有关规定执行。

6.2.2　温度均匀性周期测量应符合表5和表6规定。

6.2.3　温度均匀性测量连续合格可以适当延长测量周期，延长测量周期应根据温度均匀性、仪表系统类型和连续合格测量次数确定，见表5和表6。

6.2.4　温度均匀性测量周期允许的超过时间见表7。

表5　工件热处理炉类别、仪表系统类型和温度均匀性测最周期

炉子类别	温度均匀性/℃	仪表系统类型	温度均匀性正常测量周期②/月	温度均匀性延长测量周期	
				温度均匀性测量连续合格的次数①②	延长测量周期②/月
Ⅰ	±3	D	1	8	2
		B、C		4	3
		A		2	6
Ⅱ	±5	D	1	8	2
		B、C		4	3
		A		2	6
ⅢA	±8	D	3	4	6
		B、C		3	6
		A		2	12
Ⅲ	±10	D	3	4	6
		B、C		3	6
		A		2	12
Ⅳ	±15	D	3	4	6
		B、C		3	6
		A		2	12
Ⅴ	±20	D	3	4	6
		B、C		3	6
		A		2	12
Ⅵ	±25	E	12	不适用	12
冷处理设备、淬火槽		不需要温度均匀性测试			

① 温度均匀性延长周期要求温度均匀性连续合格的次数。

② 使用载荷温度传感器的实验室炉子温度均匀性测量每季度进行，连续合格2次，可延长至半年。

表 6 原材料热处理炉类别、仪表系统类型和温度均匀性测量周期

炉子类别	温度均匀性/℃	仪表系统类型	温度均匀性正常测量周期/月	温度均匀性延长测量周期	
				温度均匀性测量连续合格的次数①	延长测量周期/月
Ⅰ	±3	D	1	8	6
		B、C	3	4	6
		A	3	2	6
Ⅱ	±5	D	1	8	6
		B、C	3	4	6
		A	3	2	6
ⅢA	±8	D	3	4	6
		B、C	6	3	12
		A	6	2	12
Ⅲ	±10	D	3	4	6
		B、C	6	3	12
		A	6	2	12
Ⅳ	±15	D	3	4	6
		B、C	6	3	12
		A	6	2	12
Ⅴ	±20	D	3	4	6
		B、C	6	3	12
		A	6	2	12
Ⅵ	±25	E	12	不适用	12
冷处理设备、淬火槽		不需要温度均匀性测试			

① 温度均匀性延长周期要求温度均匀性连续合格的次数。

表 7 测量周期允许的超过时间

测量周期	1 周	2 周	1 月	3 月	6 月	12 月
允许的超过时间/d	1	2	3	4	6	12

6.3 检测装置

按 GB/T 9452 有关规定执行。检测温度传感器应符合第 7 章规定，检测仪表应符合第 8 章规定。

6.4 检测方法

6.4.1 一般要求

按 GB/T 9452 有关规定执行。

6.4.2 检测点数量和位置

6.4.2.1 周期式炉

6.4.2.1.1 温度传感器数量

温度传感器数量应符合表 8 规定。

表 8　周期式炉温均匀性测量温度传感器数量①②

有效加热区体积（小于）/m^3	0.085	6.4	8.5	11	17	23	28	57	85	113
Ⅰ类和Ⅱ类设备温度传感器数量/支	5	9	14	16	19	21	23	30	35	40
ⅢA 类至Ⅵ类设备温度传感器数量③/支	5	9	12	13	14	15	16	20	23	25

① 对于炉子有效加热区体积超过 113m^3 的情况，使用下列公式来计算温度传感器数量：

Ⅰ类或Ⅱ类设备：$9+\dfrac{\sqrt{35.3\times(\text{有效加热区体积}-6.4)}}{2}$；

ⅢA 类至Ⅵ类设备：$9+\dfrac{\sqrt{35.3\times(\text{有效加热区体积}-6.4)}}{4}$。

② 对于炉子有效加热区体积小于 113m^3 的情况，使用本表中温度传感器数据内插法计算，也可以使用公式来计算温度传感器数量。

③ 对浴炉使用单支温度传感器进行温度均匀性测量时，上述数量表示温度传感器位置。

6.4.2.1.2　检测点位置

炉子有效加热区体积 < 6.4m^3 温度均匀性测量检测点位置如表 9 所示。炉子有效加热区体积 ≥6.4m^3时，检测点位置应在井式炉高度、圆周方向或箱式炉高度、长度、宽度方向均衡布置在最佳代表位置。当有效加热区加热以周围辐射加热为主时，增加的温度均匀性测量温度传感器应均匀布置在有效加热区的外围。

表 9　周期式炉温度均匀性测量检测点位置

炉型	有效加热区体积	
	< 0.085m^3	0.085 ~ < 6.4m^3
井式炉		
箱式炉		

6.4.2.2　连续炉

连续炉温度均匀性测量可以采取下列方法检测：

a）单元体积法　推杆式连续炉可以采取单元体积移动法测量温度均匀性。测量温度传感器布

置在托盘或料筐的边缘处，测量点数量和位置如表 9 中箱式炉所示。测量时托盘或料筐以正常条件移动并测量，直至保温时间结束。

b）平面法　输送带式连续炉可以采取平面法检测温度均匀性。测量温度传感器布置在垂直于炉子装卸方向的一个平面测温架上，以常用的运料速度移动测温架进行测温，直到保温时间结束。

平面法温度均匀性测量温度传感器数量和位置如表 10 所示。

表 10　输送带式连续热处理炉平面法测量温度均匀性检测点数量和位置

有效加热区高度 h	
≤300mm①③④	>300mm②③④

① 炉子有效加热区高度≤300mm，宽度≤2.4m，测量温度传感器 3 支。宽度>2.4m 时，每增加 610mm 增加 1 支测量温度传感器。

② 炉子有效加热区高度>300mm，有效加热区横截面积≤0.75m²，测量温度传感器 5 支。有效加热区横截面积>0.75～<1.5m²，测量温度传感器为 7 支，有效加热区横截面积≥1.5m²，测量温度传感器为 9 支。

③ 新增测量温度传感器应在垂直炉子装卸料方向的测温平面上均匀分布。

④ 测量点中角上温度传感器位置偏差≤76mm。

6.4.3　检测温度

6.4.3.1　温度均匀性初始测量一般在工作温度范围的最高温度和最低温度下进行；若工作温度范围超过 335℃，则应增加测量温度点，使其间隔不大于 335℃。

6.4.3.2　温度均匀性周期测量应在工作温度范围内的任一温度。对于使用温度范围超过 335℃的单一操作温度范围炉子温度均匀性周期测量，测量温度应在操作温度上下限 170℃范围内，并且两个测量温度间应不超过 335℃。每年还应进行一次初始测量。

6.4.3.3　为纠正温度均匀性测量的失败，允许在表 3 和表 4 最大允许调整（补偿）量限制之内对控制仪进行人工的或内部的调整（补偿）。

注：1. 人工调整（补偿），温度均匀性测量失败是因温度分布不对称引起的，可对控制仪的设定点进行人工的补偿，并在以后的生产中应用此人工补偿。因为这种人工补偿对系统精度校验的执行和误差的计算没有影响，因此无须考虑。

2. 内部调整（补偿），为纠正温度均匀性的不对称分布而对控制和记录仪进行内部调整，则在以后的系统精度校验时，应加上此补偿。

3. 温度均匀性测量不合格采取调整（补偿）控制仪的形式进行纠正时，如果工作温度范围不超过 165℃，不需要重新测量温度均匀性；如果工作温度范围超过了 165℃，对于本次测试范围中应用了补偿的最低和最高温度，需要进行重新测量温度均匀性。

6.4.4　检测顺序及步骤

6.4.4.1　检测顺序及步骤按 GB/T 9452 有关规定执行。

6.4.4.2　温度均匀性测量的数据采集周期和时间取决于热处理炉炉型和生产中记录温度周期，按表 11 规定。

表 11　温度均匀性测量数据采集周期和时间

炉　　型	周期式热处理炉		连续式热处理炉
生产中记录温度周期/min	≤2	>2	—
数据采集周期/min	≤2	2~6	≤2
数据采集时间或次数	30min		3 次

6.5　温度均匀性测量替代方法

6.5.1　浴炉和流态粒子炉的替代检测方法

6.5.1.1　允许用移动的单支或多支测试探头代替体积法测试传感器，以测量周期式炉温均匀性测量的位置、温度分别测量浴炉和流态粒子炉的温度均匀性。

6.5.1.2　所有参数应反映生产中设备的正常运行。设备应稳定在测量温度。

6.5.1.3　第一个测量位置应监测至少 15min，以便能测量到任何复现的温度曲线。如果没有测量到复现的温度曲线，则在后面的位置应以 2min 或更短的间隔读取数据，每个测量位置最少 6min。如果测量到了复现的温度曲线，应在每个位置记录足够的时间，以便测量 5 个的复现温度曲线的极限温度。总的测量时间不应少于 30min。所有的读数都应符合温度均匀性允差的要求。

6.5.2　连续炉或有炉罐的炉子的代替检测方法

6.5.2.1　直插法

当按正常方法测量温度均匀性时，测量温度传感器穿过连续炉或者把温度均匀性测量温度传感器装入炉内或炉罐有困难时．可以使用直插法。

从炉壁、炉底或炉顶插入温度均匀性测量温度传感器到本标准规定的检测位置的 76mm 范围内。每 2min 记录所有温度均匀性测量温度传感器温度读数，并且每 5min 记录控制、监测、记录温度传感器的温度读数，温度稳定后至少记录 30min。

6.5.2.2　性能评价法

用性能测试替代温度均匀性测量，性能评价法包括下列 2 种：

a）每年性能测试。试样材料为常用热处理材料，材料厚度在正常热处理尺寸范围之内。试样放在全部装载工件的端部和中间有代表性位置，处理后测试性能（包括拉伸性能、硬度、渗层深度等）应符合技术条件要求。开始和随后每年性能评价应在最高和最低工作温度进行。工作温度范围 >165℃时应增加附加测量温度以保证两个测量温度间隔不超过 165℃。连续炉的测量速度应是用于生产的正常速度。每个测量温度至少进行 10 次试验。

b）每月性能趋势分析。被分析的产品选取性能对热处理温度敏感者或经常处理的产品，热处理材料的性能应按统计过程控制进行分析。每月考察性能的趋势。全部性能应不超过控制极限。如果性能趋势显示超出控制极限的上限或下限，应确定和纠正超出的原因后才能进行下一步的处理。

6.6　补充热辐射测试

6.6.1　对于铝合金固溶处理的空气炉，当其热源（例如，电热元件或燃气辐射管）位于炉壁上，应在炉子温度均匀性鉴定合格的最高使用温度进行补充热辐射测试。应在新炉和会影响炉壁热辐射特性的任何损坏或修理后进行。

6.6.2　热辐射测试温度传感器是对正常测量温度传感器的补充，该温度传感器测量端应插入或焊接在 6061 铝合金板的中心处，测试板为约 305mm 的正方形，厚度不超过 3mm。在第一次使用前此板应在 520~545℃空气中加热和冷却。

6.6.3　测试板的数量按每 0.93m^2 加热壁面积放一块计，应使板面平行于加热壁对称地放置在有效加热区的外沿。热辐射测试板的任一面都可面向热源。

6.6.4　所有热辐射测量温度传感器的温度应符合温度均匀性的要求。

6.7　温度均匀性判定

如果炉温测量是合格的，炉子的温度均匀性应满足下述要求：

a）测量周期内，温度均匀性测量温度传感器读数、控制或监测温度传感器读数不超过温度允许偏差上限；

b）保温期间所有温度均匀性测量温度传感器读数和控制或记录温度传感器读数在相应表 5 或表 6 规定的温度容差要求内；

c）达到恢复、稳定或重复温度图形要求的时间不超过相应工艺规范规定的时间限制；

d）温度均匀性测量应在要求的最少时间内完成。

6.8　检测记录和报告

检测记录和报告按 GB/T 9452 有关规定执行。

7　温度传感器

7.1　一般要求

7.1.1　温度传感器和补偿导线应符合 GR/T 1598、GB/T 2614、GB/T 2903、GB/T 4989、GB/T 4990、GB/T 4993、GB/T 4994、GB/T 5977、GB/T 9452、GB/T 16839.1、GB/T 16839.2、GB/T 17615、GB/T 18404 有关规定。

7.1.2　温度传感器允差和校准应符合表 12 规定。

表 12　温度传感器精度和校准

温度传感器名称	温度传感器类型①③	用途	允差②③④	校准⑤	
				周期	对照物
参考标准传感器	R 和 S 型贵金属	Ⅰ级标准校准	无	5 年	国家标准或参考标准
Ⅰ级标准传感器	R 和 S 型贵金属	Ⅱ级标准校准	±0.6℃或±0.1%t	3 年	参考标准
Ⅱ级标准传感器	廉金属或 R 和 S 型贵金属	测试温度传感器校准	廉金属：±1.1℃或±0.4%t 贵金属：R、S 型 ±1.0 或±0.25%t	首次使用前重新校准： R 或 S 型-2 年 廉金属-1 年	Ⅰ级标准
	B 型贵金属		±0.6℃或±0.5%t	首次使用前重新校准： B 型-2 年	
控制、记录和监测传感器	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	安装在设备中测量设备温度	Ⅰ类或Ⅱ类炉：±1.1℃或±0.4%tⅢA 类至Ⅵ类炉：±2.2℃或±0.75%t	首次使用前	Ⅰ级或Ⅱ级标准
载荷传感器	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	测量载荷温度	±2.2℃或±0.75%t	首次使用前重新校准： B、R 或 S 型-6 个月 廉金属-不允许	Ⅰ级或Ⅱ级标准
系统精度校验传感器	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	系统精度校验	廉金属：±1.1℃或±0.4%t 贵金属：±1.0℃ R、S 型，或±0.25%t B型，或±0.5%t	首次使用前重新校准： B、R 或 S 型贵金属-6 个月 J 或 N 型-3 个月 其他廉金属-不允许	Ⅰ级或Ⅱ级标准

（续）

温度传感器名称	温度传感器类型①③	用途	允差②③④	校准⑤	
				周期	对照物
温度均匀性测量传感器	廉金属或B、R和S型贵金属	温度均匀性测量	±2.2℃或±0.75%t	首次使用前重新校准：B、R或S型贵金属-6个月 J或N型-3个月 其他廉金属-不允许	Ⅰ级或Ⅱ级标准

① 允许用精度相同或更高精度的温度传感器。

② 读数的百分数或修正值（以℃表示），以大者为准。

③ T型热电偶通常用于0℃以下，具有±0.6℃或±0.8%t的允差，以大者为准。

④ t为被测温度绝对值。

⑤ 参考标准温度传感器可以用于校准任何低一级温度传感器。

7.1.3　温度测量应使用本标准规定的温度传感器，或使用具有相同或更高精度的其他温度传感器。热电偶可以是包覆偶丝、陶瓷绝缘偶丝或金属铠装线缆。初次或后续校准得到的温度传感器修正值可以用于改善温度准确度并且在本标准要求时使用。

7.2　校准

7.2.1　所有温度传感器使用前都应经过校准，并在有效期内使用，精度应符合表12要求。每支温度传感器应有一份合格证，标明校准数据来源、检定的测量温度、实际测量温度读数、校准方法，以及每个校准温度的修正值或偏差。温度传感器应在其使用的温度范围内校准。所有温度传感器的校准间隔不应超过140℃。禁止在260℃以上使用过的K型和E型热电偶重校。禁止易耗型廉金属热电偶重校。高于最高校准温度和低于最低校准温度时，禁止采用校准修正值外推法。

7.2.2　温度传感器应依据表12中要求的校准周期校准。

7.2.3　热电偶的成卷校准应满足下列要求：

a）经验证热电偶丝材质量稳定性和均匀性优良，由校准合格的丝卷制成的热电偶可以代替单独校准的热电偶使用。丝卷校准应由丝卷的两端取样。如果从每端头得到的单个修正值都在表12的合格范围内，应使用由该丝卷两端所取热电偶样品的平均修正值。

b）在任何校准温度，如果样品热电偶的最高和最低校准读数的差值超过1.1℃，不应使用丝卷校准方法。对于不满足丝卷校准条件的丝卷，允许将此丝卷分成更短的丝卷进行丝卷校准，或者单支热电偶校准。

c）校准时丝卷中丝或线缆的最大长度，贵金属热电偶610m，廉金属热电偶1525m。

7.3　补偿导线

补偿导线应符合国家标准GB/T 4989和GB/T 4990规定。补偿导线应按相关标准校准合格并提供修正值。补偿导线不能拼接。连接器、插头、插座和端子片应具有符合对应的温度传感器类型的热电特性。推荐使用补偿导线见表13。无线传送器可以代替补偿导线。

表13　推荐使用的热电偶补偿导线

热电偶分度号	补偿导线型号	补偿导线名称	代号	温度范围/℃	允差/℃
S	SC	铜-铜镍0.6补偿线型导线	SC-GS	0～100	±2.5
R	RC	铜-铜镍0.6补偿线型导线	RC-GS	0～100	±2.5
K	KX	镍铬10-镍硅3延长型导线	KX-GS	-20～100	±1.1
N	NX	镍铬14硅-镍硅4镁延长型导线	NX-GS	-20～100	±1.1

（续）

热电偶分度号	补偿导线型号	补偿导线名称	代号	温度范围/℃	允差/℃
E	EX	镍铬 10-铜镍 45 延长型导线	EX-GS	-20 ~ 100	±1.0
J	JX	铁-铜镍 45 延长型导线	JX-GS	-20 ~ 100	±1.5
T	TX	铜-铜镍 45 延长型导线	TX-GS	-20 ~ 100	±0.5

7.4　使用

7.4.1　温度传感器使用限制

7.4.1.1　对于 K 和 E 型热电偶 260℃ 以上的重复使用，其插入深度应等于或大于上一次插入深度。

7.4.1.2　绝缘层保持完好、热电偶丝及测量端没破损的温度传感器可以重复使用。如果将温度传感器不符合要求的部分（包括 K 型和 E 型热电偶暴露在 260℃ 以上的部分）修剪掉，热端重制并重校合格，则损坏温度传感器的修补是允许的。如果修补的温度传感器源自已校准的热电偶丝卷，则可用热电偶丝卷的校准代替重校。修补前的使用次数应包括在温度传感器的总的已使用次数之内。

7.4.2　控制、监测或记录温度传感器

7.4.2.1　控制、监测或记录温度传感器应安装于热处理设备的有效加热区内或尽量靠近有效加热区，与控制和监测仪表一同控制和监测温度。

7.4.2.2　一般采用耐久型热电偶或热电阻温度计作控制、监测或记录温度传感器。易耗型热电偶用作控制、监测或记录温度传感器时，只限使用一次。

7.4.2.3　载荷温度传感器可以用作控制温度传感器。当载荷温度传感器用作控制温度传感器时，控制、监测或记录温度传感器不应超过最高工艺温度。当载荷温度传感器用作控制温度传感器时，应在使用前进行校准。廉金属载荷热电偶不允许重复校准。易耗型热电偶只限使用一次，耐久型热电偶限制见 7.4.3。

7.4.3　载荷温度传感器

7.4.3.1　用于测量工件、模拟件或原材料温度的载荷温度传感器，在加热过程中应与载荷接触或埋在载荷中。

7.4.3.2　不允许对廉金属载荷热电偶进行重复校准，贵金属载荷热电偶的重复校准周期应为 6 个月。

7.4.3.3　易耗型廉金属载荷热电偶在 650℃ 及其以下温度使用时可以使用 30 次，最长可以使用 90d；在 650℃ 以上使用只限于使用 1 次。耐久型廉金属载荷热电偶的使用寿命取决于使用温度，使用的最大次数或最长使用时间应符合表 14 要求，以先到者为准。

表 14　耐久型廉金属载荷热电偶允许使用次数①

热电偶	温度范围/℃	允许使用次数或时间
耐久型廉金属载荷热电偶	<650	270 次或 90d
	650 ~ <980	180 次或 90d
	980 ~ <1205	90 次或 90d
	1205 ~ <1260	10 次或 90d
	≥1260	1 次

①　在多个温度范围使用时，应以最少使用次数或时间来限制。

7.4.4　系统精度校验温度传感器

7.4.4.1　系统精度校验温度传感器应符合表12要求，用一级或二级标准仪表以及一级或二级标准温度传感器进行校准。

7.4.4.2　在260℃以上使用过的K型和E型热电偶不允许重复校准后使用。

7.4.4.3　不允许对任何易耗型廉金属热电偶进行重复校准，但允许重复使用。980℃及其以下重复使用次数“U”限制不超过30次（即U=650℃以下的使用次数+650～980℃之间使用的次数的2倍）；980℃以上使用只允许一次。

7.4.4.4　在260℃以下使用的K型、E型的耐久型廉金属测试热电偶，以及J型、N型、所有贵金属测试热电偶的重复校准应符合表12。

7.4.5　温度均匀性测量温度传感器

7.4.5.1　温度均匀性测量温度传感器应符合表12要求，应用一级或二级标准仪表以及一级或二级标准温度传感器进行校准。

7.4.5.2　在温度均匀性测量中，温度传感器应符合7.4.4.2、7.4.4.3和7.4.4.4规定。

7.4.5.3　专用于650℃以下的廉金属温度均匀性测量热电偶应限于使用不超过90次或3a，以较短的为准。

8　仪表

8.1　一般要求

8.1.1　应使用本标准规定的精度相同或更高精度的仪表，将温度传感器的输出转换为温度读数。仪表精度和校验要求应符合表15规定，同时应符合GB/T 3386.1的规定。

8.1.2　炉子记录仪的温度分辨率要求应符合表16规定，工艺记录打印和走纸速度应符合表17规定。

表15　仪表精度和校准

仪表	仪表类别	用　途	校准精度①	校准周期/月	校准对照物
参考标准仪表	齐纳击穿电压参考	仅限于校准Ⅰ级标准	按国家标准	36	国家标准
Ⅰ级标准仪表	电位计或数字电压表①	仅限于实验室校准Ⅱ级标准和测试仪表及Ⅰ级和Ⅱ级标准温度传感器	±0.05℃或读数的±0.015%，以大者为准	36	参考标准
	4个或更多个惠斯顿型电池③或等同的静态直流标准	仅限于实验室校准仪表及Ⅱ级标准电池和标定仪表	电池毫伏额定值的±0.005%	12[b]	参考标准
Ⅱ级标准仪表	电位计或数字电压表①	仅限于实验室校准现场测试仪表、系统精度校验温度传感器、温度均匀性测量温度传感器、载荷温度传感器、控制、监测和记录温度传感器⑦	±0.2℃或读数的±0.05%，以大者为准	12	Ⅰ级标准或Ⅰ级标准电池
	2个或更多个饱和的或不饱和的惠斯顿型电池或等同的静态直流标准	仅限于实验室标定Ⅱ级标准仪表和校准测试仪表	电池毫伏额定值的±0.005%	12②	Ⅰ级标准电池

（续）

仪表	仪表类别	用　　途	校准精度①	校准周期/月	校准对照物
控制、监测和记录仪表	数字仪表④⑤⑧	热处理设备的温度测量、记录和控制	±1.1℃或读数的±0.2%，以大者为准	Ⅰ类炉 1 Ⅱ类炉 3 ⅢA 类炉 3 Ⅲ类炉 3 Ⅳ类炉 6 Ⅴ类炉 6 Ⅵ类炉 6 冷处理设备和淬火槽 6	测试仪表
	电子机械仪表④⑤⑧	热处理设备的温度测量、记录和控制	±1.1℃或设备最大测量温度的±0.3%，以大者为准	Ⅰ类炉 1 Ⅱ类炉 1 ⅢA 类炉 3 Ⅲ类炉 3 Ⅳ类炉 3 Ⅴ类炉 3 Ⅵ类炉 3 冷处理设备和淬火槽 6	测试仪表
	机械式或热仪表	仅限于热加工设备、冷处理设备和淬火槽的温度测量	±3℃	6	比较测量（相同于系统精度校验）
现场测试仪表⑥	便携式系统精度校验/温度均匀性测量⑨电位计或数字仪表、电子数据记录仪或数据采集系统	仅限于控制、监测或记录仪表校准，进行系统精度校验和温度均匀性测量	±0.6℃或读数的±0.1%，以大者为准	3	Ⅰ级或Ⅱ级校准

① 允许使用精度相同或更高精度的仪表。
② 应每月进行电池间的比较检查。
③ 具有±0.01℃温度控制的电池。
④ Ⅰ类或Ⅱ类炉子应有1℃的最小灵敏度。ⅢA 类至Ⅵ类炉子应有2℃的最小灵敏度。
⑤ 炉子控制、记录、监测仪表或数据采集仪表。
⑥ 符合Ⅱ级标准精度要求的现场测试仪表。可以用于在现场校准系统精度校验和温度均匀性测量测试仪表。
⑦ 仅用于炉子超温保护的超温仪表不需要校准。
⑧ 使用载荷热电偶的实验室炉子，控温仪每季度校准。
⑨ 现场测试仪表及控制、监测和记录仪表可以使用无线传输设备。

表 16　炉子图表记录仪温度分辨率要求①

炉子类别	温度均匀性/℃	图表纸的每厘米最大度数/（℃/cm）	图表记录最大增量/（℃/格）
Ⅰ	±3	11	1
Ⅱ	±5	33	3
ⅢA	±8	33	3

（续）

炉子类别	温度均匀性/℃	图表纸的每厘米最大度数/（℃/cm）	图表记录最大增量/（℃/格）
Ⅲ	±10	55	5
Ⅳ	±15	55	5
Ⅴ	±20	55	5
Ⅵ	±25	77	15
冷处理设备、淬火槽	—	33	3

① 数字仪表应有1℃的分辨率。

表17　工艺记录仪打印和走纸速度

记录仪类型	打印间隔①②③	走纸速度④	
圆图记录仪	在每个温度循环时间中打印间隔至少6次。打印间隔不能超过15min	对于温度循环时间<1h，每个完整过程最大8h	对于温度循环时间≥1h，每个完整过程最大24h
长图记录仪		对于温度循环时间<1h，最小50mm/h	对于温度循环时间≥1h，最小25mm/h
数字式	—	—	—

① 产品在炉中的整个时间过程中记录仪应保持运转。
② 对于所有打印图表记录的采样如果不同于制造商规定的采样速率时间值，则应以文件说明。
③ 为了表明符合最小冷却速率，最小打印间隔可能需要改变。
④ “循环”是指热处理温度时间循环。

8.2　仪表校准

8.2.1　应对使用的仪表进行校准。无论使用何种校准程序，都应符合表15的要求。

8.2.2　校准精度和周期要求应符合表15规定。

8.2.3　应按照制造厂说明书的下列要求进行校准：

a）控制、监测和记录仪表的校准应按照制造厂说明书进行。如果不使用制造厂说明书，校准应在炉子合格的工作温度范围的最低值、中间1/3处和最高值，至少应使用3个模拟温度传感器输入量。

b）如果炉子温度保持在工艺允差内，并且炉子温度记录有适当的注解表明进行了校准（包括时间和日期），炉子控制、监测和记录仪表的校准可以与被处理的载荷一起进行（对单个温度范围）。

c）校准应对使用中可以改变或调整的每个通道，或者可以改变或调整的通道组进行。仪表调整后应再做一次校准。

d）应每年核对图表记录仪（圆图和长图）走纸速度，其精度应在±3min/h之内。

e）校准过程中应检查灵敏度。Ⅰ、Ⅱ类炉子仪表应有至少1℃灵敏度，ⅢA～Ⅵ类炉子仪表应有至少2℃灵敏度。

8.3　使用

8.3.1　控制、监测或记录仪表

8.3.1.1　对于每个加热区至少有一个记录和控制仪表，具有最低1℃的分辨率。

8.3.1.2　控制、监测和记录仪表的安装应符合制造商的使用说明书。

8.3.1.3　除模拟量到数字量和数字量到模拟量转换，或直接测量数值的数位处理、误差检查的等

同表示以外，控制、监测或记录仪表应从温度传感器接收未修正的信号。

8.3.1.4 如果使用了补偿，则应有一份说明的程序文件，描述何时和怎样进行了人工的或电子内部的补偿。此程序应说明怎样计算和重新输入任何有意的补偿。在重新输入任何有意的补偿之前，应考虑仪表校准误差，不应使用大于表3和表4中所示的最大允许调整（补偿）量。

8.3.2 现场测试仪表

现场测试仪表应为数字式并具有最低1℃的分辨率。

8.4 仪表校准记录

8.4.1 仪表上粘贴的标签应表明最近合格的校准

标签上至少应包括：

a）进行校准的日期；

b）下次校准的日期；

c）进行校准的人员；

d）标签上应指明任何限定或限制。

8.4.2 校准结果应以文件归档

报告至少应包括：

a）仪表编号或炉子编号；

b）已校准仪表的制造商和型号；

c）校准使用的标准；

d）校准方法（制造商说明书）；

e）要求的准确度；

f）在每个校准点获得的数据和处理的数据；

g）获得和处理后的补偿（当需要时）；

h）灵敏度（当要求时）；

i）合格或不合格的说明；

j）应包括校准的任何限定或限制；

k）进行校准的日期；

l）下次校准应进行的日期；

m）进行校准的人员及审批；

n）进行校准的公司；

o）校准公司代表签字盖章。

8.4.3 电子记录

电子记录是以数字形式表示的文本、图表、数据、音频、图片或其他信息的任何结合，此数字形式是由计算机系统创建、修改、维护、存档、修正或分类。当使用电子记录系统（炉子控制、记录、监测或数据采集）时，系统应满足下列要求：

a）系统必须创建的是一次性写入的、只读的、没检测就不能修改的电子记录；

b）系统软件和再现功能应提供一个检查、分析和编辑记录数据的方法，但不应提供任何修改原始数据的方法；

c）系统应能生成精确和完整的记录拷贝。即可人工读取又适合检查、审查和拷贝的电子表格；

d）在整个记录保存期间，系统应支持已校准的记录的保护，保存和取回。在整个按规定的保存周期期间，硬件和软件应工作；

e）系统应提供限制方法（如口令），仅有经过文件授权的个人才可进入系统。

9 管理

9.1 记录保存

温度传感器和仪表、所有系统精度校验和温度均匀性测量的全部校准和测量记录，应可供检查并归档保存不少于5年。

9.2 保证措施

9.2.1 加工方应负责进行全部要求的测试并使其符合本标准规定的全部要求。委托方保留查验本标准规定的任何测试或校准的权利，以保证工艺过程符合规定的要求，但这种查验不得有妨碍设备的运转。

9.2.2 任何仪表、温度传感器，测量不符合相关要求或超过其测量间隔（包括任何相应允许的延长周期）都不允许使用。

9.2.3 采取的纠正措施应有文件记录，包括使仪表、温度传感器、测量符合要求的措施。

9.2.4 如果发生了任何测量失败或超差情况，应对从最后一次合格测量之后处理的产品不符合的可能影响进行评估。此评估应按已建立的材料审核程序记录。应采取恰当的纠正措施并记录和存档。当材料处理状态偏离规范要求，应通知受影响的委托方。作为适当的纠正措施的证据，要求进行相应符合性测量。

附 录 A

（资料性附录）

系统精度校验修正计算示例

表A.1 系统精度校验修正计算示例

示例条件	示例编号				
	1	2	3	4	5
最近温度均匀性测量（TUS）使用的补偿	否	否	否	仪表程序补偿+2℃	仪表程序补偿+3℃
最近系统精度校验（SAT）使用的补偿	否	否	否	否	仪表程序补偿−1.5℃
生产中使用的仪表修正系数（B_{inst}）	否	人工手动	仪表程序中已设定B_{inst}	仪表程序中已设定B_{inst}	仪表程序中已设定B_{inst}
生产中使用的传感器修正系数（B_{tc}）	否	人工手动	仪表程序中已设定B_{tc}	仪表程序中已设定B_{tc}	仪表程序中已设定B_{tc}
示例数据和计算					
仪器读数（A）	800℃	511℃	1225℃	802℃	1103℃
人工使用的仪表校验的修正系数（B_{inst}）	—	+3℃	不适用	不适用	不适用
人工使用的热电偶校验修正系数（B_{tc}）	—	−1℃	不适用	不适用	不适用
控制或记录仪表因温度均匀性测量（TUS）补偿产生的修正系数（B_{TUS}）	—	—	—	−2℃	−3℃
$A+B_{inst}+B_{tc}+B_{TUS}$=已修正的控制或记录仪表温度（$C$）	800℃	513℃	1225℃	800℃	1100℃
测试仪表读数（未修正）（D）	805.0℃	513.3℃	1220.0℃	805.0℃	1106℃

（续）

示例条件	示例编号				
	1	2	3	4	5
测试热电偶修正系数（E）	-1.0℃	-1.0℃	-1.0℃	-1.0℃	-1.4℃
测试仪表修正系数（F）	+0.2℃	+0.2℃	+0.2℃	+0.2℃	+0.4℃
$D+E+F$=实际测试温度（G）	804.2℃	512.5℃	1219.2℃	804.2℃	1105.0℃
系统精度校验（SAT）偏差=$C-G$	-4.2℃	+0.5℃	+5.8℃	-4.2℃	-5.0℃

第三节　热处理炉有效加热区测定方法

一、概论

1. 本标准的重要性、必要性

热处理质量主要靠热处理工艺来控制和保证，其中加热温度控制是决定热处理质量的主要因素之一，因此，热处理炉配置了完善的温度控制、记录、报警系统，建立了严格的维护、检定标准和制度。但在热处理生产中，由于生产率和装料等因素，限制了炉子热电偶布置的数量，无法了解整个热处理炉装料区的温度情况。为了使热处理炉装料区的温度及其炉温均匀性满足热处理工艺要求，必须预先测定热处理炉膛内满足热处理工艺要求的允许装料区——有效加热区。还要采取必要措施，把热处理工件装入有效加热区内。因此有效加热区测定方法标准是热处理工艺标准的基础，也是热处理技术进步和水平的重要标志。

我国热处理质量控制和保证体系过去一直强调严格的检验制度。改革开放以来，我们了解并掌握了先进的质量保证理念，就是实行全面质量控制，重视生产过程的质量控制，把质量保证的重点从最终检验的被动把关，转移为生产过程质量控制为主，实行预防和检验相结合的质量保证模式。热处理全面质量控制很重要的内容是保证热处理工艺正确实施，其前提条件是要预先测定热处理炉符合工艺温度的有效加热区。因此，热处理炉有效加热区的测定和合理使用是推行热处理全面质量控制的重要举措和改革。

热处理加热炉的有效加热区即是指热处理炉炉膛内满足热处理工艺要求的允许装料区域。热处理工艺对加热炉的要求是加热温度及炉温均匀性，这是判断有效加热区的依据。有效加热区（Working zone）在国内也叫有效工作区域。热处理炉的有效加热区仅与热处理工艺要求有关，而与炉子型式、结构、热源类型无关。

为了提高热处理工艺水平和质量，改变热处理质量管理落后状态，推行热处理全面质量控制，全国热处理标准化技术委员会于1988年组织编制了GB/T 9452—1988《热处理炉有效加热区测定方法》，1992年又组织编制了JB/T 6049—1992《热处理炉有效加热区测定》，规定了热处理炉有效加热区的具体测定程序和方法。经过十多年的实践，丰富和发展了这些标准，在总结经验的基础上，于2004年修订GB/T 9452—1988，纳入JB/T 6049—1992内容，参照日本JIS B 6901：1987《金属热处理用加热设备的有效加热区使用方法》，制定了GB/T 9452—2003。

随我国改革开放的深入，装备制造业振兴和快速发展，对热处理质量提出了更高的要求，推动了《热处理质量控制要求》和《热处理炉有效加热区测定方法》标准的全面实施，积累了很多经验。在世界经济一体化的形势下，在国际合作中又提出了更多更高的要求，GB/T 9452—2003已不适应国际接轨的要求，需要再次修订。于是，于2012年对GB/T 9452—2003进行了修订，标准编

号为 GB/T 9452—2012。

2. 国内外概况和分析

热处理炉有效加热区测定、应用与管理，是热处理全面质量控制的关键环节之一。国外先进工业化国家纷纷制定相关标准，国内根据国际合作和全面质量控制的要求，也制定了这方面的标准。

20 世纪 70 年代美国、加拿大等已在热处理生产中规定了炉温均匀性测定方法，首先在国防工业热处理生产中采用，航空热处理最早执行。如美国波音飞机公司的 BAC 5621《生产过程的温度控制》和麦道公司 DPS 1.700《高温测量》，详细规定了按体积计算炉温均匀性测温点数和位置，继而美国军标 MIL-H-6875《航空与航天用钢的热处理》，将波音标准上升为军标，还专门编制了美国宇航材料规范 SAE AMS 2750《高温测量法》。日、英、法、德和加拿大基本仿照美国也都制定了相应的标准。日本根据本国情况制定了专门标准 JHS C-1《热处理加热炉有效加热区的试验方法》，对箱式炉、井式炉、连续炉等都规定了有效加热区的测定方法。后来经过修订，形成了 JIS B 6901。德国也制定了专门的标准 DIN 17052.1—2000《热处理炉　第 1 部分温度均匀性要求》。

我国在 20 世纪 80 年代初期，由于航空工业的来料加工、来图加工和来样加工“三来加工”拥入，引进了大量热处理生产标准，其中包括热处理炉有效加热区测定方法方面的标准。航空部于 1986 年在国内首家颁布实施了 HB 5354—1986《航空制件热处理质量控制标准》，包含了热处理炉有效加热区测试容。为了更好进行热处理炉的有效加热区测定，航空部根据航空工厂的实际需要，于 1989 年又颁布实施了 HB 5425—1989《航空制件热处理炉有效加热区测定方法》，最新版本为 HB 5425—2013。

国内外关于热处理炉有效加热区（或炉温均匀性）测定方法的标准分为两大类：一大类为航空航天工业类；另一类为军民两用类。第一大类包括美国的 SAE AMS 2750、MIL-H-6875、BAC 5621、DPS 1.700，以及我国的 HB 5425 等。第二大类包括日本的 JIS B 6901、德国的 DIN 17052.1 及我国的 GB/T 9452 等。

3. 关键创新点

（1）本次修订中增加 ±8℃炉型，把这种炉型定为ⅢA 类。近年来，我国研究和发展了很多高性能材料，如沉淀硬化型不锈钢、高合金超高强度钢等，采用的热处理工艺要求是温度允差 ±8℃，所以本次修订中增加 ±8℃炉型，但为了保持我们传统的热处理炉类别体系，把这种炉型定为ⅢA 类。ⅢA 类型炉子的控温仪表、记录仪表、有效加热区测定周期、仪表检定周期等技术要求均与Ⅲ类型炉子相同。

（2）在热处理炉按有效加热区温度均匀性分类方面，GB/T 9452—2012 将原来的六类改为七类。世界各国都在根据热处理技术进步，改变热处理炉按有效加热区温度均匀性的分类。美国的 SAE AMS 2750D 分为六类，分别为 ±3℃、±6℃、±8℃、±10℃、±14℃、±28℃；日本 JIS B 6901：1998 分为七类，分别为 ±3℃、±5℃、±7.5℃、±10℃、±15℃、±20℃、±25℃。GB/T 9452 分为七类，分别为 ±3℃、±5℃、±8℃、±10℃、±15℃、±20℃、±25℃，这与国外先进同类标准一致，实现与国际接轨，提升标准水平，促进国际合作发展。

（3）本次修订时增加了直插法测量、真空炉接插法测量、炉温跟踪仪测量等，同时增加了测量线路图。近年为适应热处理炉有效加热区测定要求，在设备改造和更新中大都增加了专门测温孔，较少采用炉门（炉盖）下引出，所以本次修订中删去了原标准中典型热电偶引出接线图。热处理炉有效加热区测定方法近年有了很大发展，除了传统的测温架体积法测量外，又发展了直插法测量、真空炉接插法测量、炉温跟踪仪测量等。对于高温炉和大型炉为防止测温架烧塌现象，研究

了直插法测定方法。对1320℃真空高温炉、大型真空炉、连续炉，进行了试验验证，试验结果表明，直插法对于高温炉有很好的实用性。炉温跟踪仪在大型炉和连续炉有效加热区测定和热处理工艺跟踪记录显示有明显优越性，应用范围不断扩大。因此，本次修订时增加了直插法测量、真空炉接插法测量、炉温跟踪仪测量等，同时增加了测量线路图。

（4）增加了“对于保温时间特短或特长情况，总检测时间可以适当缩短或延长”的规定，增加了大尺寸规格井式炉、箱式炉增加测试点数量要求。各单位贯彻原标准过程中，对于很小工件的热处理保温时间很短，采用热处理炉有效加热区测定总检测时间≤2h，和工作状况不符，总检测时间规定过长；而对于处理特大、特重工件的热处理炉，总检测时间≤2h规定时间过短。各单位都针对各自情况进行了研究，积累了很多数据和经验。本次修改采用了这些成果，增加了“对于保温时间特短或特长情况，总检测时间可以适当缩短或延长”规定，并增加了大尺寸规格井式炉、箱式炉增加测试点数量的要求。

二、标准应用说明

1. 编制原则

编制原则体现先进性、实用性和可操作性。

（1）先进性：GB/T 9452—2012是在总结贯彻GB/T 9452—2003版经验基础上，参考了国内外相关标准制定的，主要参考JIS B 6901、SAE AMS 2750D（2005年发布）、HB 5425等，使本标准与国际接轨。

（2）实用性：GB/T 9452—2012采纳了在贯彻GB/T 9452—2003中遇到问题的解决方案和意见，补充增加了炉温均匀性测定方面的新技术和测试仪器，补充完善了温度传感器和补偿导线。补充完善了测定有效加热区的实施条件，增加了可不进行重复测定有效加热区的规定。

（3）可操作性：GB/T 9452—2012在检测方法方面补充了“气氛炉应通入正常气氛、热处理炉应处于正常状态、一台炉子可以有多个不同有效加热区等”的规定。详细具体列出热处理常用炉型的检测点数量和位置，周期炉包括井式炉、箱式炉、浴炉和流态粒子炉、等离子炉等；连续炉包括推杆式炉、输送带式炉等。输送带式连续炉可采用体积法或平面法。增加了测量温度传感器故障及处理等规定。

2. 主要内容的确定

GB/T 9452主要为JB/T 10175《热处理质量控制要求》、GJB 509B《热处理工艺质量控制》及相关工艺标准提供技术支持和配套。HB 5425主要为HB 5354《热处理工艺质量控制》、GJB 509B《热处理工艺质量控制》中高端产品热处理及相关工艺标准技术支持和配套。GB/T 30825《热处理温度测量》中温度均匀性测量是为满足高要求热处理、国际合作中热处理而提出来的。GB/T 9452、HB 5425、GB/T 30825中温度均匀性测量是三个不同档次标准，GB/T 9452是基础，是基本要求。在GB/T 9452修订和编制GB/T 30825过程中，既要考虑发挥GB/T 9452基础作用，又要体现GB/T 30825的更高要求，在GB/T 9452修订中突出共性要求，编制GB/T 30825重点列出更高要求，体现两者有机结合和联系。

JB/T 10175和GJB 509B对工艺仪表系统的要求是双偶控温，记录仪表类型相当于GB/T 30825中的D类仪表系统。所以GB/T 9452的温度均匀性测量不分仪表类型，与GB/T 30825中温度均匀性测量要区分仪表类型不同。

GB/T 9452—2012主要内容包括：热处理炉按温度均匀性分类、实施条件和测定周期、检测装置、检测方法、有效加热区的评定、检测报告和管理。

3. 修订指标的确定

（1）近年来我国研究和发展了很多高性能材料，如沉淀硬化型不锈钢、高合金超高强度钢等，采用的热处理工艺要求是温度允差±8℃；JIS B 6901 和 SAE AMS 2750D 也都有±8℃这个级别的炉型。所以 GB/T 9452—2012 中增加±8℃炉型，但为了保持我们传统的热处理炉类别体系，把这种炉型定为ⅢA 类。ⅢA 类型炉子的控温仪表、记录仪表、有效加热区测定周期、仪表检定周期等技术要求均与Ⅲ类型炉子相同。

（2）有效加热区实施条件中增加了必须要测定有效加热区的情况，如标准文本中的 5.1.1 所示。同时还增加了不必重复进行有效加热区测定情况，如标准文本中的 5.1.2 所示。这些主要是参考 SAE AMS 2750D 提出的。

（3）考虑到近年来我国热工仪表和热电偶的进步和发展，参考 SAE AMS 2750D 中对仪表和热电偶的要求，提高了标准文本中表 1 中热处理炉控温仪表和记录仪表级别要求，标准文本中表 3 增加 R、B、N、J、T 和铂电阻，标准文本中表 4 增加了 RC、NX、JX、TX 补偿导线。

（4）热处理炉有效加热区测定方法近年有了很大发展，除了传统的测温架体积法测量外，又发展了直插法测量、真空炉接插法测量、炉温跟踪仪测量等，测量线路也出现了很多新类型，所以 GB/T 9452—2012 参考日本标准增加了测量线路图。近年为适应有效加热区测定，在设备改造和更新中大都增加了专门测温孔，较少采用炉门（炉盖）下引出，所以删去了原标准中典型测量图。

（5）对于检测方法一般要求，参考 SAE AMS 2750D 规定，增加气氛炉应通入正常气氛，对于如渗碳炉、渗氮炉、保护气氛炉等，气氛可能污染检测热电偶，还可能有安全危险，所以规定这种情况可以采用空气或惰性气体代替气氛炉正常气氛。增加了热处理炉应处于正常使用状况，还允许一台热处理炉有多个不同有效加热区。

（6）原 7.2 条“检测点和位置”主要参照 JIS B 6901 有关规定进行了修改：

1）标准文本表 5 周期式井式炉检测点数量和位置中，图中各检测点位置的角度进一步明确；直径 $d \geqslant 0.5 \sim 2$m、高度 $h > 2$m，检测点总数由 10 个增加至 11 个。增加了标准文本表 5 以外大尺寸井式炉按标准文本表 7 增加检测点，其位置在高度和圆周方向均衡布置。当检测点增加够 4 点增加一个平面，按端面相似布置。

2）标准文本表 6 箱式炉检测点数量和位置中，原标准高 $h < 0.3$m 和 $\geqslant 0.3$m 两档，改为 < 0.5m 和 $\geqslant 0.5$m 两档。增加了标准文本表 6 以外大尺寸箱式炉按标准文本表 7 增加检测点，其位置在高度、长度、宽度方向均衡布置。当检测点增加够 4 点增加一个平面，按端面相似布置。

3）7.2.1 条增加对于浴炉或流态粒子炉规定，井式的按直径 $d < 0.5$m、高 $h < 1$m 井式炉规定执行，箱式的按宽 $b \leqslant 1.5$m、长 $l < 2$m、高 $h < 0.5$m 箱式炉规定执行。

4）7.2.2 条“连续式加热炉”原标准分为托盘送料式或料筐送料式连续炉和传送带式震底式连续炉，改为推杆式等连续炉和输送带式等连续炉。

5）标准文本表 8 推杆式连续炉检测点和位置中，原标准宽度 b 只有 $\leqslant 1.5$m 一档，改为 < 1.5m 和 $\geqslant 1.5$m 两档；原标准中长度 L 只有 2m 一档，改为托盘或料筐长度 $l' < 1.0$m 和 $\geqslant 1.0$m 两档；原标准中高度 $h < 0.3$m 和 $\geqslant 0.3$m 两档，改为 < 0.3m、0.3m ~ < 1.0m、$\geqslant 1.0$m 三档。

（7）大尺寸井式炉、箱式炉增加测试点的标准文本中表 7 是参考 SAE AMS 2750D 有关规定确定的。根据各单位贯彻原标准反映意见，对于很小工件的热处理保温时间很短，采用热处理炉有效加热区测定总检测时间 $\leqslant 2$h，和工作状况不符，总检测时间规定过长；对于处理特大、特重工件的热处理炉，总检测时间 $\leqslant 2$h 规定时间过短。所以 7.4.3.6 条增加“对于保温时间特短或特长情况，总检测时间可以适当缩短或延长”。

（8）参考 SAE AMS 2750D 规定，增加了 7.4.3.7 条热处理炉有效加热区测定温度传感器故障及处理的规定。

（9）根据 GB/T1.1 对本标准在结构上，编排格式、文字表达上都进行了相应修订。GB/T 9452—2012 把第 4 章标题改为热处理炉按有效加热区炉温均匀分类，使标题与内容更一致。把第 10 章标志内容合并到“第 11 章管理”中，使标准更明简。GB/T 9452—2012，将原来的保温精度一词全部改为炉温均匀性，既适合我国国情，又方便国际交流。

（10）增加了 7.4.3.5 节的表 12 温度均匀性测量记录表，以便明确及统一数据记录。

4. 主要试验验证情况

（1）新炉型试验验证。底装料立式多用炉技术是可控气氛热处理的重要发展，除具有少无氧化脱碳、控制精确特点之外，还可以选择各种不同淬火冷却介质，以适应不同材料和零件对淬火冷却的不同要求，使热处理零件获得最佳的性能和质量，最大限度地减少热处理畸变。底装料立式多用炉具有温度和气氛恢复与转换快的特点，可以实现保护淬火、渗碳、渗氮等多种工艺快速转换，提高生产率，降低成本；还可以实现少无内氧化渗碳、表面碳势可控的薄层与超薄层渗碳等高质量化学热处理。底装料立式多用炉采用加热炉和淬火槽独立的结构，可以灵活选用不同淬火介质，是代替盐浴炉和铅浴炉热处理、减少环境污染、实现清洁热处理的最佳方案。该炉型采用模块积木式设计，用户可以灵活选择配置，适应各种不同生产规模和批量。底装料立式多用炉技术近年在我国获得广泛应用，在提高热处理质量和节能减排，实现清洁生产方面发挥了重要作用。

对底装料立式多用炉进行了有效加热区测定试验验证，结果如表 3.7-2 ~ 表 3.7-5 所示。试验结果表明，本标准规定内容适用于新型热处理炉，并实践了空载与满载对比试验验证。

（2）真空炉直插法试验验证。有效加热区测定方法和温度均匀性测定方法最近有很大发展，对于高温炉和大型炉为防止测温架烧塌现象，研究了直插法测定方法。对真空高温炉进行了试验验证，测试温度场的空间关系及布点图如图 4.3-1 所示，试验结果如表 4.3-1 ~ 表 4.3-5 所示，测试报告见表 4.3-6。试验结果表明，直插法对于高温炉有很好的实用性。

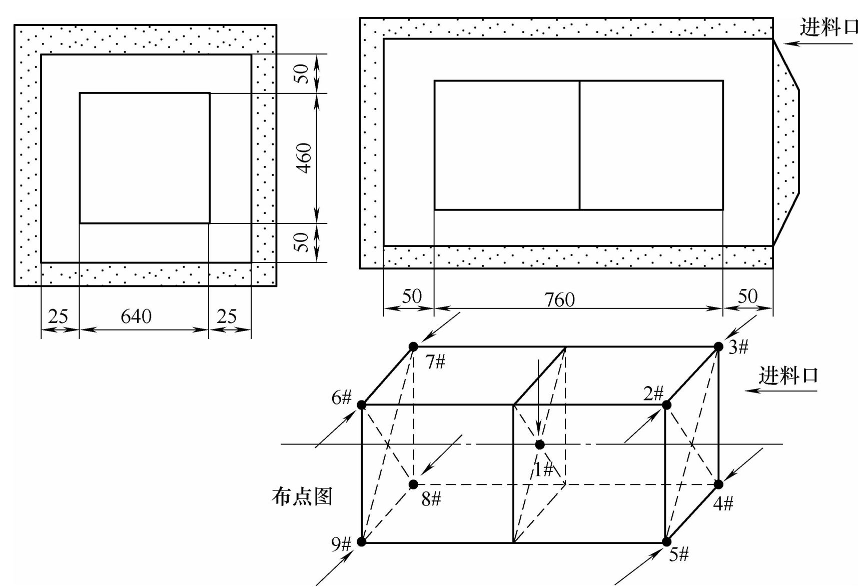


图 4.3-1　BM-1608 真空正压气淬炉测试温度场空间关系及布点图

表 4.3-1　炉温均匀性及有效加热区检测记录　（单位：℃）

炉子型号	BM-1608	炉膛尺寸/mm	760×640×460		炉子编号	1302045	生产地	美国	使用单位	航空621所
设定温度	700	均匀性要求		±10						
热电偶温度读数（已修正）										记录仪指示
热电偶编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	
通道号	1(中心)	2	3	4	5	6	7	8	9	
时间 9:06:48	700.8	706.5	703.8	706.1	706.3	701.7	700.4	706.6	705.8	700
9:08:38	700.6	706.2	703.3	706.6	706.1	701.4	700.4	706.5	705.5	700
9:10:28	700.4	705.8	703.1	706.2	706.4	701.2	700.3	706.3	705.2	700
9:12:18	700.2	705.4	702.6	705.8	706.0	701.1	700.5	706.1	704.9	700
9:14:10	700.1	705.0	702.3	705.4	706.6	700.9	700.2	705.9	704.8	700
9:16:11	699.9	704.8	702.2	705.2	706.4	700.9	700.2	705.7	704.6	700
9:18:09	699.8	704.7	701.9	704.9	706.2	700.8	700.1	705.6	704.6	700
9:20:59	699.7	704.3	701.8	704.7	705.9	700.7	700.0	705.4	704.5	700
9:22:49	699.6	704.1	701.5	704.5	705.7	700.6	700.0	705.2	704.4	700
9:24:39	699.5	704.0	701.4	704.4	705.5	700.6	700.0	705.0	704.3	700
9:26:33	699.4	703.9	701.4	704.2	705.3	700.5	699.9	705.0	704.3	700
9:28:33	699.4	703.7	701.1	704.1	705.2	700.5	700.0	704.9	704.2	700
9:30:30	699.4	703.7	701.1	704.0	705.1	700.5	699.9	704.8	704.2	700
9:32:20	699.4	703.6	701.0	703.8	705.1	700.4	699.9	704.7	704.1	700
9:34:10	699.3	703.4	701.0	703.7	704.9	700.3	699.8	704.7	704.1	700
9:36:01	699.2	703.3	701.2	703.6	704.8	700.3	699.8	704.6	704.0	700
最大温度波动	700.8	706.5	703.8	706.6	706.6	701.7	700.5	706.6	705.8	700
最小温度波动	699.2	703.3	701	703.6	704.8	700.3	699.8	704.6	704	700
超过设定点的最大值		706.6	低于设定点的最大值			699.2	超过要求的最大温冲			706.6
备注			均匀性			6.6				
						-0.8				

表 4.3-2　炉温均匀性及有效加热区检测记录　（单位：℃）

炉子型号		BM-1608	炉膛尺寸/mm	760×640×460		炉子编号	1302045	生产地	美国	使用单位	航空621所
设定温度		850	均匀性要求		±10						
热电偶温度读数（已修正）											记录仪指示
热电偶编号		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	
通道号		1（中心）	2	3	4	5	6	7	8	9	
时间	9:06:48	850.3	854.0	851.5	854.2	855.1	851.4	850.6	855.3	854.7	850
	9:08:38	850.1	853.8	851.4	854.1	855.0	851.3	850.5	855.2	854.6	850
	9:10:28	849.9	853.5	851.2	853.7	854.7	851.1	850.3	855.0	854.3	850
	9:12:18	849.8	853.4	851.0	853.6	854.6	851.0	850.1	854.8	854.2	850
	9:14:10	849.6	853.2	850.9	853.4	854.4	850.8	850.0	854.6	854.0	850
	9:16:11	849.6	853.0	850.8	853.3	854.3	850.7	850.0	854.4	854.0	850
	9:18:09	849.5	853.1	850.8	853.2	854.2	850.6	849.8	854.4	853.9	850
	9:20:59	849.5	853.0	850.7	853.1	854.2	850.6	849.8	854.3	853.9	850
	9:22:49	849.5	853.0	850.7	853.1	854.1	850.6	849.7	854.3	853.8	850
	9:24:39	849.3	852.9	850.7	853.0	854.1	850.5	849.7	854.3	853.7	850
	9:26:33	849.3	852.9	850.7	853.0	854.0	850.5	849.6	854.2	853.7	850
	9:28:33	849.3	852.8	850.6	853.0	854.0	850.5	849.6	854.1	853.7	850
	9:30:30	849.3	852.8	850.6	853.0	854.0	850.5	849.6	854.1	853.6	850
	9:32:20	849.3	852.8	850.6	852.9	854.0	850.5	849.5	854.0	853.6	850
	9:34:10	849.3	852.8	850.7	852.9	854.0	850.5	849.6	854.1	853.6	850
	9:36:01	849.3	852.8	850.7	852.9	854.0	850.4	849.5	854.0	853.6	850
最大温度波动		850.3	854	851.5	854.2	855.1	851.4	850.6	855.3	854.7	850
最小温度波动		849.3	852.8	850.6	852.9	854	850.4	849.5	854	853.6	850
超过设定点的最大值			855.3	低于设定点的最大值			849.3	超过要求的最大温冲			855.3
备注				均匀性			5.3				
							-0.7				

表 4.3-3　炉温均匀性及有效加热区检测记录　（单位：℃）

炉子型号	BM-1608	炉膛尺寸/mm	760×640×460		炉子编号	1302045	生产地	美国	使用单位	航空621所
设定温度	1000	均匀性要求		±10						
热电偶温度读数（已修正）										记录仪指示
热电偶编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	
通道号	1（中心）	2	3	4	5	6	7	8	9	
时间 9:06:48	1000.7	1004.0	1001.8	1004.3	1004.7	1001.4	1000.5	1004.7	1004.2	1000
9:08:38	1000.5	1003.7	1001.7	1004.0	1004.5	1001.2	1000.3	1004.4	1003.9	1000
9:10:28	1000.5	1003.6	1001.6	1004.0	1004.4	1001.2	1000.2	1004.3	1003.8	1000
9:12:18	1000.2	1003.4	1001.4	1003.8	1004.3	1001.0	1000.1	1004.1	1003.6	1000
9:14:10	1000.1	1003.1	1001.3	1003.5	1004.1	1000.7	999.8	1003.8	1003.3	1000
9:16:11	1000.1	1003.1	1001.1	1003.5	1004.0	1000.6	999.8	1003.8	1003.3	1000
9:18:09	1000.0	1003.0	1001.0	1003.4	1004.0	1000.6	999.6	1003.7	1003.2	1000
9:20:59	1000.0	1002.9	1001.0	1003.3	1003.8	1000.5	999.6	1003.6	1003.1	1000
9:22:49	1000.0	1003.0	1001.0	1003.3	1003.8	1000.4	999.6	1003.5	1003.1	1000
9:24:39	999.9	1002.9	1001.0	1003.3	1003.8	1000.5	999.8	1003.4	1003.0	1000
9:26:33	999.9	1002.9	1001.1	1003.3	1003.8	1000.4	999.6	1003.4	1003.0	1000
9:28:33	999.9	1003.0	1000.9	1003.3	1003.9	1000.4	999.6	1003.4	1003.0	1000
9:30:30	999.9	1002.9	1000.9	1003.2	1003.8	1000.3	999.5	1003.3	1002.9	1000
9:32:20	999.9	1002.9	1001.0	1003.2	1003.8	1000.4	999.6	1003.4	1002.9	1000
9:34:10	1000.0	1003.0	1001.0	1003.2	1003.8	1000.3	999.5	1003.4	1002.9	1000
9:36:01	1000.0	1003.0	1001.1	1003.3	1003.8	1000.4	999.7	1003.4	1002.9	1000
最大温度波动	1000.7	1004	1001.8	1004.3	1004.7	1001.4	1000.5	1004.7	1004.2	1000
最小温度波动	999.9	1002.9	1000.9	1003.2	1003.8	1000.3	999.5	1003.3	1002.9	1000
超过设定点的最大值		1004.7	低于设定点的最大值			999.5	超过要求的最大温冲			1004.7
备注				均匀性			4.7			
							−0.5			

表 4.3-4　炉温均匀性及有效加热区检测记录（真空）

炉子型号		BM-1608	炉膛尺寸/mm	760×640×460		炉子编号	1302045	生产地	美国	使用单位	航空621所
设定温度		1150	均匀性要求		±10						
热电偶温度读数（已修正）											记录仪指示
热电偶编号		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	
通道号		1（中心）	2	3	4	5	6	7	8	9	
时间	9:06:48	1150.5	1153.0	1150.8	1153.7	1153.9	1150.2	1150.1	1153.6	1152.6	1150
	9:08:38	1150.5	1153.0	1150.7	1153.7	1153.8	1150.1	1150.1	1153.4	1152.6	1150
	9:10:28	1150.5	1152.9	1150.6	1153.6	1153.9	1150.1	1150.1	1153.4	1152.5	1150
	9:12:18	1150.2	1152.7	1150.5	1153.5	1153.8	1150.1	1150.0	1153.4	1152.5	1150
	9:14:10	1150.2	1152.6	1150.4	1153.5	1153.7	1150.0	1150.0	1153.3	1152.5	1150
	9:16:11	1150.4	1152.8	1150.6	1153.6	1153.8	1150.0	1150.1	1153.4	1152.4	1150
	9:18:09	1150.6	1153.1	1150.7	1153.7	1154.0	1150.3	1150.2	1153.6	1152.6	1150
	9:20:59	1150.7	1153.0	1150.8	1153.8	1154.1	1150.4	1150.2	1153.6	1152.7	1150
	9:22:49	1150.5	1153.0	1150.7	1153.8	1154.0	1150.3	1150.2	1153.6	1152.7	1150
	9:24:39	1150.7	1153.1	1150.9	1154.0	1154.1	1150.4	1150.4	1153.7	1152.8	1150
	9:26:33	1150.8	1153.1	1150.9	1153.9	1154.1	1150.4	1150.4	1153.7	1152.8	1150
	9:28:33	1150.6	1153.0	1150.8	1153.8	1154.0	1150.4	1150.3	1153.6	1152.7	1150
	9:30:30	1150.7	1153.1	1150.8	1153.8	1154.1	1150.4	1150.3	1153.7	1152.7	1150
	9:32:20	1150.7	1153.1	1150.8	1153.9	1154.1	1150.5	1150.4	1153.8	1152.8	1150
	9:34:10	1150.6	1153.1	1150.8	1153.8	1154.1	1150.4	1150.4	1153.8	1152.8	1150
	9:36:01	1150.7	1153.0	1150.7	1153.8	1154.0	1150.3	1150.3	1153.7	1152.7	1150
最大温度波动		1150.8	1153.1	1150.9	1154	1154.1	1150.5	1150.4	1153.8	1152.8	1150
最小温度波动		1150.2	1152.6	1150.4	1153.5	1153.7	1150	1150	1153.3	1152.4	1150
超过设定点的最大值			1154.1	低于设定点的最大值			1150	超过要求的最大温冲			1154.1
备注				均匀性			4.1				
							0.0				

表 4.3-5　炉温均匀性及有效加热区检测记录（分压）

炉子型号		BM-1608	炉膛尺寸/mm	760×640×460		炉子编号	1302045	生产地	美国	使用单位	航空621所
设定温度		1150	均匀性要求		±10						
热电偶温度读数（已修正）											记录仪指示
热电偶编号		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	
通道号		1（中心）	2	3	4	5	6	7	8	9	
时间	9:06:48	1150.2	1153.0	1150.4	1153.5	1153.7	1150.3	1150.0	1153.3	1152.5	1150
	9:08:38	1150.5	1153.3	1150.6	1153.6	1153.8	1150.3	1150.0	1153.3	1152.5	1150
	9:10:28	1150.6	1153.5	1150.8	1153.8	1154.1	1150.5	1150.1	1153.5	1152.6	1150
	9:12:18	1150.5	1153.4	1150.7	1153.8	1154.0	1150.6	1150.3	1153.5	1152.8	1150
	9:14:10	1150.5	1153.3	1150.8	1153.8	1154.1	1150.6	1150.2	1153.5	1152.8	1150
	9:16:11	1150.5	1153.3	1150.8	1153.7	1154.0	1150.4	1150.1	1153.4	1152.6	1150
	9:18:09	1150.6	1153.4	1150.9	1153.8	1154.1	1150.7	1150.3	1153.6	1152.7	1150
	9:20:59	1150.6	1153.4	1150.8	1153.8	1154.1	1150.6	1150.3	1153.7	1152.8	1150
	9:22:49	1150.5	1153.3	1150.8	1153.8	1154.1	1150.6	1150.3	1153.6	1152.7	1150
	9:24:39	1150.4	1153.2	1150.7	1153.7	1153.9	1150.4	1150.1	1153.5	1152.6	1150
	9:26:33	1150.4	1153.2	1150.8	1153.7	1154.0	1150.5	1150.1	1153.5	1152.7	1150
	9:28:33	1150.4	1153.2	1150.7	1153.7	1154.0	1150.4	1150.1	1153.4	1152.6	1150
	9:30:30	1150.2	1153.0	1150.5	1153.5	1153.8	1150.1	1149.8	1153.2	1152.4	1150
	9:32:20	1150.3	1153.1	1150.5	1153.7	1153.9	1150.3	1150.0	1153.3	1152.5	1150
	9:34:10	1150.2	1152.9	1150.4	1153.5	1153.8	1150.2	1149.9	1153.2	1152.5	1150
	9:36:01	1150.0	1152.8	1150.3	1153.4	1153.6	1150.1	1149.7	1153.1	1152.4	1150
最大温度波动		1150.6	1153.5	1150.9	1153.8	1154.1	1150.7	1150.3	1153.7	1152.8	1150
最小温度波动		1150	1152.8	1150.3	1153.4	1153.6	1150.1	1149.7	1153.1	1152.4	1150
超过设定点的最大值			1154.1	低于设定点的最大值			1149.7	超过要求的最大温冲			1154.1
备注				均匀性			4.1				
							−0.3				

表 4.3-6 试验验证测试报告

炉温均匀性测试结果		
测试条件	空载	
炉子类别	符合Ⅲ级（±10℃）	
测试结果		
测试温度/℃	设定温度/℃	温度均匀性/℃
700	700	$700^{+6.6}_{-0.8}$
850	850	$850^{+5.3}_{-0.7}$
1000	1000	$1000^{+4.7}_{-0.5}$
1150（真空）	1150	$1150^{+4.1}_{-0.3}$
1150（分压）	1150	$1150^{+4.1}_{+0.0}$

（北京航空材料研究院王广生供稿）

三、标准内容（GB/T 9452—2012）

热处理炉有效加热区测定方法

1 范围

本标准规定了热处理炉按温度均匀性分类、实施条件和测定周期、检测装置、检测方法、有效加热区的评定、检测报告和管理。

本标准适用于评定热处理炉内满足热处理工艺规定的加热温度及温度均匀性的有效加热区。不适用于连续加热炉中没有固定的工艺规定加热温度或不要求温度均匀性的加热区。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1598 铂铑 10-铂热电偶丝、铂铑 13-铂热电偶丝、铂铑 30-铂铑 6 热电偶丝

GB/T 2614 镍铬-镍硅热电偶丝

GB/T 2903 铜-铜镍（康铜）热电偶丝

GB/T 4989 热电偶用补偿导线

GB/T 4990 热电偶用补偿导线合金丝

GB/T 4993 镍铬-铜镍（康铜）热电偶丝

GB/T 4994 铁-铜镍（康铜）热电偶丝

GB/T 5977 电阻温度计用铂丝

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 13324 热处理设备术语

GB/T 16839.2 热电偶 第 2 部分：允差

GB/T 17615 镍铬硅-镍硅镁热电偶丝

GB/T 18404 铠装热电偶电缆及铠装热电偶

3 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 工艺规定温度 process temperature

根据工件热处理的目的和材料种类，由热处理工艺规定的加热温度。

3.2　保温温度　soaking temperature

在工艺规定温度下保持必要时间，工件或加热设备内加热介质的温度。

3.3　温度均匀性　temperature uniformity

热处理炉实际保温温度相对于工艺规定温度的精确程度，是指各测试点温度相对于设定温度的最大温度偏差。

3.4　有效加热区　working zone

在加热炉中，经温度检测而确定的满足热处理工艺规定温度及温度均匀性的工作空间。

3.5　假定有效加热区　previewed work zone

为判断热处理炉的有效加热区，在进行检测前，根据热处理炉的结构、控制方式及其他条件而预先假定的测温空间，一般为热处理炉制造厂或有关标准所规定的工作空间。

3.6　空载试验　no load test

在不装入工件或代用品的情况下测定有效加热区的试验。

3.7　装载试验　load test

装入一定量工件或代用品情况下测定有效加热区的试验。装入炉子额定装载量一半的载荷情况下的装载试验，称为半装载试验；装入炉子额定装载量的载荷情况下的装载试验，称为满载试验。

4　热处理炉按温度均匀性分类

热处理炉按有效加热区的温度均匀性分为七类，其控温仪表准确度级别、记录仪表准确度级别要求如表1所示。

表1　热处理炉按温度均匀性分类及其仪表准确度级别

热处理炉类型	有效加热区温度均匀性/℃	控温仪表准确度级别/级	记录仪表准确度级别/级
Ⅰ	±3	0.1	0.2
Ⅱ	±5	0.2	0.3
ⅢA	±8	0.5	0.5
Ⅲ	±10	0.5	0.5
Ⅳ	±15	0.5	0.5
Ⅴ	±20	0.5	0.5
Ⅵ	±25	1.0	1.0

5　实施条件和测定周期

5.1　实施条件

5.1.1　热处理炉凡属下列状况之一者，均应测定有效加热区：

a）新添置的热处理炉首次应用于生产；

b）经过大修或技术改造的热处理炉；

c）热处理炉生产对象或工艺变更，需要改变温度均匀性时；

d）控温或记录温度传感器位置变更时；

e）定期或临时需要进行有效加热区检测时；

f）改变有效加热区位置和扩大体积；

g）扩大工作温度范围；

h）炉气流动方式、速度（如挡板位置、风扇速度、风量等）改变；

i）耐火材料型号或厚度改变；

j）加热元件数量、类型或位置改变；

k）燃烧器尺寸、数量、类型或位置改变；

l）燃烧压力设定改变；

m）炉子压力设定改变；

n）温度控制配置改变；

o）稳定常数调整。

5.1.2　炉子较小的修理、损坏或故障元件替换、恢复炉子至初始状态、不影响炉子温度均匀性的维护，都不要求进行有效加热区重复测定。包括：

a）用完全相同燃烧器或炉砖部分更换燃烧器或炉砖；

b）用具有相似热性能的材料部分修理耐火材料；

c）更换控制或监测温度传感器至其以前相同的位置；

d）更换加热系统元件（例如气体调整器、阀、仪表、部分加热元件等）；

e）恢复初始燃烧压力设定或整定常数；

f）用具有相同整定常数的相同控制仪表更换控制仪表；

g）系统精度校验不合格；

h）纠正炉子压力控制问题；

i）维修炉门密封。

5.2　测定周期

热处理炉有效加热区的测定周期如表2所示。

表2　热处理炉有效加热区测定周期　　（单位：月）

热处理炉类型	Ⅰ	Ⅱ	ⅢA	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
有效加热区测定周期	2	2	6	6	6	6	12

注：1. 利用率较低的热处理炉，其测定周期可适当延长。

2. 仅用作退火、正火和消除应力等预备热处理的加热炉，以及经连续三个周期检测合格、使用正常的热处理炉，其测定周期可延长至一年。

6　检测装置

6.1　组成

热处理炉有效加热区检测装置由温度传感器、补偿导线、铜导线、检测仪表、转换器及测温架等组成。测量线路如图1所示。

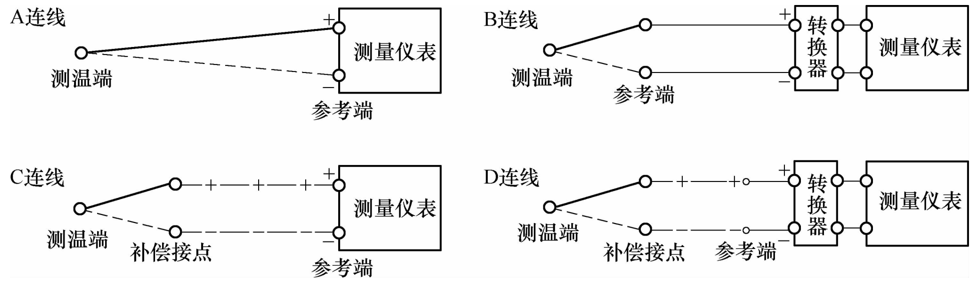


图1　测量线路的连接图

注：————热电偶正极　—+—+—补偿导线正级　————铜导线

– – – –热电偶负极　— – — – —补偿导线负极

6.2　温度传感器

检测用温度传感器应符合GB/T 1598、GB/T 2614、GB/T 2903、GB/T 4993、GB/T 4994、GB/T 5977、GB/T 17615、GB/T 16839.2及相关标准的规定，按检测温度及温度均匀性要求按表3选

择。对于真空炉、气氛炉应采用铠装热电偶，铠装热电偶应符合 GB/T 18404 及相关标准的规定。

表 3　热处理炉有效加热区检测用温度传感器

温度传感器名称	分度号	等级	使用温度/℃	允差[①]/℃	检定周期[②]/月
铂铑 10-铂	S	Ⅰ	0 ~ 1100	±1	12
			1100 ~ 1600	±［1 + 0.003 × （t − 1100）］	
		Ⅱ	0 ~ 600	±1.5	6
			600 ~ 1600	±0.25%t	
铂铑 13-铂	R	Ⅰ	0 ~ 1100	±1	12
			1100 ~ 1600	±［1 + 0.003 × （t − 1100）］	
		Ⅱ	0 ~ 600	±1.5	6
			600 ~ 1600	±0.25%t	
铑 30-铂铑 6	B	Ⅱ	0 ~ 600	±1.5	12
			600 ~ 1700	±0.25%t	
镍铬-镍硅	K	Ⅰ	0 ~ 375	±1.5	6
			375 ~ 1000	±0.4%t	
		Ⅱ	−40 ~ 333	±2.5	
			333 ~ 1200	±0.75%t	
镍铬硅-镍硅	N	Ⅰ	0 ~ 375	±1.5	6
			375 ~ 1000	±0.4%t	
		Ⅱ	−40 ~ 333	±2.5	
			333 ~ 1200	±0.75%t	
镍铬-铜镍（康铜）	E	Ⅰ	−40 ~ 375	±1.5	6
			375 ~ 800	±0.4%t	
		Ⅱ	−40 ~ 333	±2.5	
			333 ~ 900	±0.75%t	
铁-铜镍（康铜）	J	Ⅰ	−40 ~ 375	±1.5	6
			375 ~ 750	±0.4%t	
		Ⅱ	−40 ~ 333	±2.5	
			333 ~ 750	±0.75%t	
铜-铜镍（康铜）	T	Ⅰ	−40 ~ 125	±0.5	6
			125 ~ 350	±0.4%t	
		Ⅱ	−40 ~ 133	±1	
			133 ~ 350	±0.75%t	
		Ⅲ	−67 ~ 40	±1	
			−200 ~ −67	±1.5%t	
铂电阻	PRT	A	−100 ~ 450	±（0.15 + 0.2%t）	6
		B	−196 ~ 600	±（0.30 + 0.5%t）	

① t 为被测温度的绝对值。

② 允许按实际需要缩短检定周期。

6.3 补偿导线

检测用热电偶补偿导线应符合 GB/T 4989、GB/T 4990 的规定，根据热电偶和环境温度范围按表 4 选择。

表 4 有效加热区检测热电偶推荐使用的补偿导线

热电偶分度号	补偿导线型号	补偿导线名称	代号	温度范围/℃	允差/℃
S	SC	铜-铜镍 0.6 补偿线型导线	SC-GS	0 ~ 100	±2.5
R	RC	铜-铜镍 0.6 补偿线型导线	RC-GS	0 ~ 100	±2.5
K	KX	镍铬 10-镍硅 3 延长型导线	KX-GS	-20 ~ 100	±1.5
N	NX	镍铬 14 硅-镍硅延长型导线	NX-GS	-20 ~ 100	±1.5
E	EX	镍铬 10-铜镍 45 延长型导线	EX-GS	-20 ~ 100	±1.5
J	JX	铁-铜镍 45 延长型导线	JX-GS	-20 ~ 100	±1.5
T	TX	铜-铜镍 45 延长型导线	TX-GS	-20 ~ 100	±0.5

6.4 检测仪表

检测仪表的准确度应高于或等于热处理炉所使用的仪表准确度等级，并且具有在有效日期内的检定合格证。可以使用便携式电位差计、数显测温仪、多点记录仪、多点巡回检测仪或炉温跟踪仪等。

6.5 转换器

采用适合一台检测仪表测量多个位置温度的切换装置，可以是自动或手动的，具有符合检测要求的性能，不应产生影响测试结果的附加热电势和电阻。

6.6 测温架

采用耐热合金、不锈钢或低碳钢管（棒）焊成的、用来固定温度传感器的支架或者料筐，其形状和大小随热处理炉有效加热区及测量方法而定，典型测温架如图 2 所示。直插法无须测温架。

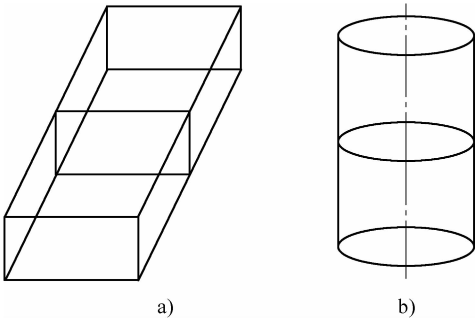


图 2 热处理炉有效加热区测温架示意图
a）箱式周期热处理炉测温架
b）井式周期热处理炉测温架

7 检测方法

7.1 一般要求

7.1.1 热处理炉有效加热区的测定，一般情况下采用空载试验，有特殊要求时可以装载试验（半载试验或满载试验）。

如果热处理炉有效加热区的测定是空载试验，一般采用测量温度传感器直接测量；也可以将测量温度传感器连在或插入试块中，试块的厚度应小于等于在炉中处理的最薄工件的厚度，最大厚度不应超过 13mm。试块材料应具有与在炉中处理的主要材料一致的室温导热率。

当热处理炉有效加热区的测定是装载试验，测量温度传感器应连在模拟件或工件载荷上，载荷应代表通常在炉中处理的工件厚度。

7.1.2 热处理炉处于正常使用状态，一般以正常的升温速度升温，风扇正常运转，网带炉的炉门通常是开着的。

7.1.3 炉子气氛应是生产中使用的正常气氛。对于工艺气氛会污染测量温度传感器（例如渗碳、渗氮、吸热性和放热性气氛），或其气氛会造成安全危险（例如含氢气或氨气）的炉子可以

用空气或惰性气氛代替。真空炉的真空度应是在生产中使用的最低真空度，但真空压强不小于0.13Pa。

7.1.4 热处理炉有效加热区测定时，测量温度传感器放入炉的温度一般是测量温度或低于测量温度；如果在生产中设备的正常操作是将工件或原材料放入冷炉中随炉升温，温度均匀性测量时不允许将炉子预热，也应随炉升温。

7.1.5 一台热处理炉可以有多个有效加热区，对应不同的温度均匀性要求的多个工作温度范围，或者对应不同的温度均匀性要求的多个不同尺寸有效加热区，必须分别进行温度均匀性测量。当存在重叠或衔接时，能够满足温度均匀性高要求时，自然能够满足较低要求，不必重复测量。

7.2 检测点数量和位置

7.2.1 周期式加热炉检测：

a）井式周期热处理炉的检测点数量和位置按表5规定。表5尺寸以外的设备，可按表7规定增加检测点，其位置在高度、圆周方向均衡布置。

表5 井式周期热处理炉检测点数量和位置 （单位：米）

高 h	直径 d	
	<0.5	0.5~2
<1		
1~2		

（续）

高 h	直径 d	
	<0.5	0.5～2
>2		

b）箱式周期热处理炉的检测点的数量和位置按表 6 规定。表 6 尺寸以外的设备，可按表 7 规定增加检测点，其位置在高度、长度、宽度方向均衡布置。

表 6　箱式周期热处理炉检测点数量及位置　（单位：米）

宽 b	长度 l	高 h	
		<0.5	0.5
≤1.5	<2		
	2～<3.5		

（续）

宽 b	长度 l	高 h	
		<0.5	0.5
≤1.5	3.5 ~ 5.0		

表 7　大尺寸周期式热处理炉检测点数量

有效加热区体积/m^3（小于）		8.5	11	17	23	28	57	85	113
检测点数量	Ⅰ ~ Ⅱ类炉	14	16	19	21	23	30	35	40
	ⅢA ~ Ⅵ类炉	12	13	14	15	16	20	23	25

注：1. 对于炉子有效加热区体积超过 113m^3 的情况，按下列公式来计算检测点数量：
Ⅰ ~ Ⅱ类设备：9 +（1/2 ×［35.3 ×（有效加热区体积 - 6.4）］的平方根）
ⅢA ~ Ⅵ类设备：9 +（1/4 ×［35.3 ×（有效加热区体积 - 6.4）］的平方根）
2. 对于炉子有效加热区体积小于 113m^3 的情况，使用本表中温度传感器数据内插法计算，也可以使用公式来计算温度传感器数量。

c）对于浴炉或流态粒子炉，其中井式的按直径(d) <0.5m、高(h) <1m 井式炉规定执行，箱式的按宽(b)≤1.5m、长(l) <2m、高(h) <0.5m 箱式炉规定执行。

7.2.2　连续式加热炉检测：

a）推杆式等连续热处理炉的检测点数量和位置按表 8 规定。托盘、料筐可以作为测量框架，其高度及宽度尺寸应分别小于假定有效加热区的高度及宽度。对于连续热处理炉，一般以正常条件移动测温框架进行测温，直至保温时间结束。因热处理炉的结构使测温框架难以移动时，也可以按照箱式周期热处理炉规定，在假定有效加热区中固定测温位置进行测定。

表 8　推杆式等连续热处理炉测量点数和位置　（单位：米）

宽 b	料筐长（l'）	高 h		
		<0.3	0.3 ~ <1.0	≥1.0
<1.5	<1.0			

（续）

宽 b	料筐长（l'）	高 h		
		<0.3	0.3 ~ <1.0	≥1.0
≥1.5	≥1.0			

b）输送带式等连续热处理炉的检测点数量和位置按表 9 规定。以常用运料速度移动测温架进行测温，直至保温时间结束。在不便移动测温架的情况下，也可按箱式周期热处理炉的规定进行测定。

表 9　输送带式等连续热处理炉测量点数量和位置　　（单位：米）

高 h	
<0.1	≥0.1

注：l—假定有效加热区长度；b—假定有效加热区宽度。

7.3　检测温度

以常用的工艺规定温度为工作温度范围，检测温度根据工作温度范围按表 10 规定确定。

表 10　检测温度

工作温度范围/℃	检 测 温 度
≤100	最高和最低温度间的任意温度
>100	原则为最高温度和最低温度

7.4　检测顺序及步骤

7.4.1　检测准备

仪表、温度传感器、补偿导线，均应检定合格并在有效期内，同时都应提供修正值。

7.4.2　测量系统的接线

7.4.2.1　用适当的方法按需要将温度传感器测量端牢固地绑扎在测温架的每个检测点位置上。平面法测量连续炉温度均匀性时，温度传感器测量端应在检测点 76mm 以内。

7.4.2.2　将温度传感器参考端从测温孔或炉门（盖）引出炉外，在方便的位置与测量仪器连接。应防止由于引出线安装不当而影响炉温测量。炉温跟踪仪也可以无直接连接，实现无线传输温度传感器测试温度。

7.4.2.3　装载试验时，温度传感器测量端应与工件或代用品连接。

7.4.3　温度测定和数据处理

7.4.3.1　无论空载试验或者装载试验，均不得升到高于检测温度后再降到检测温度。

7.4.3.2　工艺仪表系统温度传感器和温度均匀性测试温度传感器中，第一支到达检测温度及其温度均匀性允差下限温度之前开始数据采集。

7.4.3.3　开始数据采集，应连续地记录所有温度均匀性测量温度传感器、控制和记录温度传感器的温度数据，以表 11 规定的时间间隔及测定次数测量各点温度。

表 11　检测时间间隔和测量次数

炉　　型	周期式热处理炉		连续式热处理炉		
工艺保温时间/min	<30	≥30	<30	30～120	>120
两次测量时间间隔/min	≤5	5～10	≤3	5～10	10～15
测量次数/次	≥3	≥6	≥3	≥6	≥8

7.4.3.4　任何时间，测量、控制或记录温度传感器温度都不应超过温度均匀性允差上限。

7.4.3.5　温度均匀性测量检测温度传感器温度读数与温度传感器、补偿导线、仪表修正值代数相加，求得各检测点真实温度。所有测量温度传感器真实温度与测试温度设定值比较，得出各点的温度偏差值，找出最大偏差值与最小偏差值，均不得大于温度均匀性允差要求，即所有测量温度传感器真实温度都在温度均匀性要求温度范围之内，则温度均匀性合格，否则为不合格。温度均匀性测量记录表见表 12。

表 12　温度均匀性测量记录表

炉子名称		检测日期		假定有效加热区尺寸/mm	
炉子编号		记录仪表准确度		装载量及气氛	
制造厂及型号		检测仪表准确度		设定温度/℃	

测 量 结 果										
时间	温度传感器真实温度 ℃									实施条件
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	
										温度传感器布置图
修正值										
最大值										
最小值										
最大偏差										

结论						
检测者		审核者		批准者		
备　　注						

7.4.3.6 测温点的温度偏差超过温度均匀性范围时，允许适当延长检测温度下的保温时间，但一个检测温度点的检测总时间一般不应超过 2h。对于工艺保温时间特短或特长情况，检测总时间可适当缩短或延长。

7.4.3.7 热处理炉有效加热区测定的测量温度传感器故障及处理

a）不允许在有效加热区角端位置的测量温度传感器出现故障。

b）不允许两个邻近的测量温度传感器故障。

c）测量温度传感器故障数限制如表 13 所示。

表 13 测量温度传感器故障限制

测量温度传感器数量/支	允许故障数/支	
	测量温度＜1039℃	测量温度≥1039℃
3～5	不允许	不允许
6～9	不允许	1
10～16	1	2
17～23	2	3
24～39	3	4
≥40	≤10%	≤10%

d）对于每个测量温度传感器故障的原因应有文件记录，并且采取防止或故障纠正措施。

e）正常温度读数能恢复的短路或接触不良等临时性情况不被认为是测量温度传感器故障。

7.5 重复检测

7.5.1 按规定的方法所得的数据，其中有一个检测点的温度均匀性不能满足要求时，应改变假定有效加热区或对热处理炉进行调整后再作重复检测。

7.5.2 在炉子降低精度类别使用时，在满足新的温度均匀性条件下可以不进行重复检测。

8 有效加热区的评定

8.1 通过上述方法检测，假定有效加热区各检测点的温度均在工艺规定的温度均匀性范围内时，即温度均匀性合格，则该空间为相对于此工艺的有效加热区。

8.2 根据温度均匀性，对照表 1 进行热处理炉类别的划分。

9 检测报告

检测报告内容应包括：

a）热处理炉的名称、编号、类别、制造单位、型号；

b）实施条件及空载或装载情况；

c）工作温度、检测温度及温度均匀性；

d）测温仪表的名称和准确度；

e）使用的气氛或盐浴类型（成分、特性）；

f）装载试验的装载量、装炉型式、运料速度、工件特性（材料、形状、尺寸及重量等）；

g）各检测点温度最大偏差值；

h）有效加热区评定；

i）检测日期及下次检测日期；

j）责任者（检测者、审核者、批准者）姓名及签字，检测单位及盖章；

k）有效加热区检测合格证，见表 14。

表 14 有效加热区检测合格证

热处理炉名称		编号	
工作温度/℃		检测仪表及准确度	
检测温度/℃		温度均匀性/℃	
装炉量及气氛		类别	

有效加热区图示：

检测日期		下次检测日期	
检测者		日期	
审核者		日期	
批准者		日期	

检测单位（盖章）

10 管理

10.1 热处理炉有效加热区测定的全部原始记录，应按各单位管理制度存入档案。

10.2 热处理炉的有效加热区用表 14 形式表示，并标明有效加热区距炉膛各炉壁的距离。热处理炉有效加热区的标志应悬挂于该炉的明显位置处。

10.3 正常情况下，有效加热区检测周期按表 2 规定执行，超过有效使用期限的热处理炉必须停止使用。

10.4 有效加热区经测定合格后，控温温度传感器和记录温度传感器的插入深度应作明显标记，位置必须固定，直至下次有效加热区测试之前不得挪动，否则必须重新测试。

第四节 燃气热处理炉温度均匀性测试方法

一、概论

天然气是一种清洁的能源和化工原料。西气东输工程的实施，可缓解东部地区清洁能源的短缺

和煤炭运输压力，有利于改善能源结构，减少污染物排放，改善大气质量，保护生态环境，提高综合国力，有利于可持续发展战略的实施。因此，贯彻清洁生产、节能减排的生产方针也逐渐成为我国热处理行业不断追求的目标。燃气热处理炉是燃烧可燃气体进行加热的，可燃气体主要有天然气、液化石油气、煤气等，其大量应用，正是得益于西气东输工程的实施，对我国能源结构的调整、清洁生产、节能减排以及装备制造行业发展有重要意义。

热处理炉有效加热区的温度均匀性是反映热处理炉工况的综合指标，是热处理炉能否满足热处理工艺要求的决定因素。我国热处理炉控温方式普遍采用：将一台热处理炉按加热区的大小划分成几个区域，每个区域有一支控温热电偶，用于控制该区域的温度，这支热电偶所测得的经控温仪表指示的温度被定义为热处理工艺温度，并被记录下来存档，作为零件热处理过程结束时的验收依据。控温仪表指示的温度能否代表整个有效加热区的温度，由有效加热区内的温度是否均匀来决定，如果温度不均匀，温控仪表指示的温度就不能代表整个有效加热区的温度，热处理工艺就得不到正确的执行，热处理后的零部件就不能获得优良的性能，以至造成产品质量下降甚至报废。因此，对燃气热处理炉温度均匀性进行测试是判断温控仪表指示的温度能否代表整个有效加热区内温度的重要参数，是保证工艺温度准确、可靠的必要手段。

由于燃气热处理炉与电加热热处理炉加热方式不同，同时，燃气热处理炉炉膛体积从几立方米到几千立方米，其炉膛内温度控制、调节受燃气性质、压力、流量、混合气体比例、烧嘴结构、炉膛结构等多种因素影响、控制、调节技术与电炉有本质区别，其难度较大，精度不高。但我国目前还没有专门针对燃气热处理炉有效加热区温度均匀性测试方法的标准，国外也没有。由于燃气热处理炉的特殊性，美国 SAE ASM 2750E《高温测量》和我国 GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》都无法覆盖燃气炉，致使燃气热处理炉有效加热区温度均匀性测试无章可循的矛盾日益突出，因此制定《燃气热处理炉温度均匀性测试方法》标准已是当务之急。

二、标准应用说明

1. 编制原则

编制工作力求“测试结果与使用效果的统一，测试后温度均匀性能真实地复现到生产过程中，提高测量结果的有效性和准确性，具有可操作性”。

2. 主要内容及适用范围

本标准规定了燃气热处理炉温度均匀性的类别划分标准；温控系统的允差、温控系统和检测系统的误差计算及修正、修正公式；炉温均匀性测试方法、初始检测和周期检测温度的要求、均匀性检测点的数量和位置；数据采集及处理、温度均匀性的评定；评定标志、测试报告和测试记录的要求及管理；安全操作及节能等方面提出了基本要求。对准确、真实地掌握热处理炉的实际工况、控制产品质量具有指导作用。本标准适用于在炉膛内直接燃烧气体加热的直燃式热处理炉，包括周期式（间歇式）、连续式。

（1）技术指标。温度均匀性测量结果不确定度 <1.5℃。测试结果不确定度的来源及评估分析：

1）来源于热电偶溯源的不确定度 u_1。热电偶溯源最大扩展不确定度 $U=1.2$℃（$k=2$），$u_1=U/k=0.6$℃。

2）来源于热电偶测量稳定性。因标准规定 10～20 次测试后，对测试热电偶在检测点进行校准，在数据处理时对热电偶误差进行修正，故稳定性引入的不确定度可忽略。

3）来源于热电偶冷端温度测量的不确定度 u_2。采用精度较高的测试仪表（一般为 0.02 级过程信号校测仪），测量冷端温度准确度 ±0.1℃，按均匀分布，$u_2=0.1℃/\sqrt{3}=0.06℃$。

4）来源于热电偶冷端温度变化的测量不确定度 u_3。在测量过程中，应对测试热电偶冷端温度变化进行控制，变化范围不超过 1.0℃，区间半宽为 ±0.5℃，按均匀分布，$u_3 = 0.5℃/\sqrt{3} = 0.29℃$。

5）来源于数据采集设备的测量不确定度 u_4。采用精度较高的测试仪表（一般为 0.02 级过程信号校测仪），测量 K 型热电偶最大误差：±0.3℃，按均匀分布，$u_4 = 0.3℃/\sqrt{3} = 0.17℃$。

6）来源于转换开关的测量不确定度 u_5。标准规定转换开关寄生电势小于 4μV（和 1μV），换算成温度为 0.1℃，按均匀分布，$u_5 = 0.1℃/\sqrt{3} = 0.06℃$。

合成标准不确定度：$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.69℃$

扩展不确定度：$U = ku_c = 1.4℃$（$k = 2$）

热处理炉温度均匀性测试结果的不确定度为 1.4℃，达到不超过 1.5℃的目标值。

（2）系统误差计算公式。系统总误差 W 为组成系统各部分误差的代数和，即 $W = W_1 + W_2 + W_3$，W_1 是热电偶误差，W_2 是补偿导线误差，W_3 是仪表指示误差。

（3）测试方法。采用测试系统与热处理炉温控、显示系统比对的方法。

（4）测试设备与试验设备

1）测试设备。测试设备由测量装置和测温架组成。测量装置主要包括：测试热电偶、测试仪表（或计算机）、补偿导线等，测试偶采用国产偶与国外偶相结合，以确保试验中耐烧、耐高温和在艰难环境下温度数据稳定可靠。测试仪表采用国产特稳携式校验仪和英国产高温跟踪仪。高温跟踪仪非常适用于连续式高温炉热处理过程全程监控。

2）试验设备。①连续式热处理炉，包括滚底式、传送带式、推杆式、悬链式等；②周期式（间歇式）热处理炉，包括车底式、台车式、箱式等；③燃烧方式有：脉冲式和大小火式。

3. 与其他标准的区别

本标准与 GB/T 9452—2012 和 SAE ASM 2750E 的主要差异见表 4.4-1。

表 4.4-1　本标准与 GB/T 9452—2012、SAE ASM 2750E 的主要差异

序号	章节	本标准	GB/T 9452—2012	SAE ASM 2750E
1	适用范围	适用于在炉膛内直接燃烧气体加热的热处理炉的温度均匀性测试	虽未说明针对那种加热方式加热的热处理炉，但多年实践检测结论，只适用于电加热炉温度均匀性测试	针对各种热处理设备及不同原材料在热处理过程中的规范、各种温度的概括性的测试原则
2	热处理炉分类	炉子的温度均匀性分为五类，最高精度 ±8℃	炉子的温度均匀性分为七类，最高精度 ±3℃	炉子的温度均匀性分为七类，最高精度 ±3℃
3	热处理炉控温系统	对控温系统允许误差进行了规定	无	规定了控温系统的允许误差
4	测试种类	因实施条件不同测试内容分两种：初始测试、周期测试	只有一种	分初始测试、周期测试两种
5	装载情况	根据燃气炉的特性，明确规定以装载测试为主，符合实际情况	以空载测试为主	以空载测试为主
6	测试周期	对热处理炉温度均匀性测试周期及控温热电偶、控温仪表的检定周期进行了规定	只对热处理炉温度均匀性测试周期进行了规定	对热处理炉温度均匀性测试周期及控温热电偶、控温仪表的检定周期进行了规定

（续）

序号	章节	本标准	GB/T 9452—2012	SAE ASM 2750E
7	测试温度	与 SAE ASM 2750E 类似，测试点间隔为不超过 330℃	工作温度范围≤100℃时，选最高、最低温度间任意温度：工作温度范围＞100℃时，原则上选最高和最低两个温度	1）初始测试：选工作温度最高和最低两个温度；当工作温度范围超过 335℃时应增加测试点，使测试点间隔不超过 2）周期测试：选实际使用温度；当有两个及以上使用温度时，测试温度与使用温度上、下限间隔不超过 335℃；工作温度范围超过 335℃时，应增加测试点
8	测试点数量、位置确定	1）周期式热处理炉：根据有效加热区的体积确定 2）测试点数量计算公式以 $8m^3$ 为基本体积单元 3）连续式热处理炉中单元体积法测试点数量变化的分界高度是 0. 5m、1m 4）连续式热处理炉中截面法测试点数量 3 点和 5 点的分界高度是 0. 3m	1）周期式热处理炉：根据有效加热区的长、宽、高尺寸确定 2）测试点数量计算公式与 SAE ASM 2750E 相同 3）连续式热处理炉中单元体积法测试点数量 5 点和 9 点的分界高度是 0. 3m、1m 4）连续式热处理炉中截面法测试点数量 3 点和 5 点的分界高度是 0. 1m	1）周期式热处理炉：根据有效加热区的体积确定 2）测试点数量计算公式以 $6.4m^3$ 为基本体积单元 3）连续式热处理炉中单元体积法测试点数量与周期式热处理炉确定方法相同 4）连续式热处理炉中截面法测试点数量 3 点和 5 点的分界高度是 0. 3m
9	测试要求	1）规定燃气热处理炉应能实现温度自动控制，测试状态应能复现到生产过程 2）规定了测试过程环境温度变化不超过 1℃ 3）规定了初始测试应先进行空载测试。后进行装载测试，两者均应合格	1）没有对温度控制状态做出规定 2）没有对测试环境温度做出规定 3）一般只进行空载测试，有特殊要求时才进行装载测试	1）没有对温度控制状态做出规定 2）没有对测试环境温度做出规定 3）没有明确说明空载、装载测试的适用条件
10	测试方法	1）数据记录时间：空载测试，当各测试点温度变化趋于稳定时开始记录；装载测试，控温系统达到设定温度时开始记录 2）测试总时间：空载测试无严格规定；装载测试不超过工艺保温时间	1）数据记录时间：从控温热电偶中第一支到达温度均匀性下限值开始记录 2）测试总时间：不超过 2h	1）数据记录时间：没有明确说明开始记录温度的时间 2）测试总时间：不少于 30min
11	数据处理	给出控温系统误差、测试系统误差、各测试点读数修正计算公式	无	无

（续）

序号	章节	本标准	GB/T 9452—2012	SAE ASM 2750E
12	温度均匀性评定	1）固定测试点法：用同一测试点温度平均值偏离设定温度的值评定 2）移动测试点法：用同一位置温度平均值偏离设定温度的值评定 3）移动测试点法：测试点处于连续变化中，用各测试点温度瞬时值偏离设定温度的值评定	用各测试点温度瞬时值偏离设定温度的值评定	用各测试点温度瞬时值偏离设定温度的值评定
13	异常值处理	规定了异常值不参与评定热处理炉温度均匀性，给出了判断和剔除测量异常值的依据	无	无
14	对脉冲加热方式热处理炉的特殊处理	对脉冲加热方式，每次测量值为一个脉冲周期的平均值。空炉检测时，炉内温度波动不能超过保温精度的±2倍	无	无
15	对测试环境温度的要求	由于测试环境温度变化对测试误差影响较大，规定测试过程中测试环境温度变化不应超过1℃	无	无

4. 主要试验情况

标准中列出的技术参数均是通过长期的实践积累、客户要求、相关技术标准及试验数据得出的，具有准确性、适用性和可靠性。温度均匀性检测过程中，涉及两套检测系统：一是炉温控制显示系统；二是温度均匀性测试系统。试验中针对温控系统误差、边缘效应、炉温波动、数据处理方法、控制调节参数整定等因素对炉温均匀性的影响进行了分析研究，找出了均匀性随这些因素的变化规律，为研究制定本标准提供了科学依据。

（1）温控系统对检测结果的影响。温控系统的测量误差来源主要包括：热电偶对分度表的误差、参考端温度误差、补偿导线误差、控温仪表指示误差、控制调节误差等。在实际测量过程中，温控系统误差对炉温的控制精度影响非常大，温控系统误差 W 为组成系统各部分误差的代数和。因此，检测前应将系统误差调整到允差范围内或进行修正。

1）控温热电偶的影响。控温热电偶安装位置不当或插入深度不能反映炉内的真实温度；热电偶参考端温度超过100℃，均会影响热电偶的检测精度，给均匀性带来影响。

2）控制调节参数整定的影响。在分析炉温自动调节系统工作效果时，常根据生产工艺对象的基本要求（稳定性、准确性、快速性）来衡量，而这些生产中的基本要求又是由自动调节系统中过渡过程的品质指标来决定的。自整定PID控制方式，其滞后时间和偏差大小选择P、I、D值，并有效的使用PI、PD、PID控制方式及设置参数的大小是实现调节效果好坏的关键，这些参数在不同的系统中各有不同，各参数之间时常又是相互矛盾的。因此，针对控制对象以及参数变化，合理

选择 P、I、D 值及 PI、PD、PID 控制方式，是提高炉温控制精度的关键。

（2） 测试系统对检测结果的影响

1） 测试热电偶检测点位置边缘效应的影响。在进行边缘效应的影响试验时，采取在距烧嘴中心上方不同高度布置检测点，分析不同高度检测点的温度对均匀性的影响。图 4. 4-1 所示为在距烧嘴中心上方不同高度检测点布置示意图，图 4. 4-2 所示为不同高度检测点温度变化曲线图。

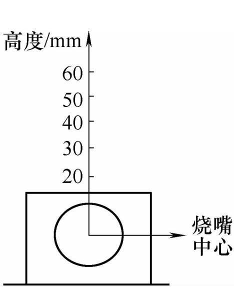


图 4. 4-1　不同高度检测点布置示意图

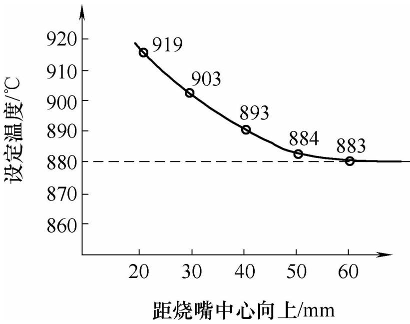


图 4. 4-2　不同高度检测点温度变化曲线图

从图 4. 4-2 中可以看出，检测点距烧嘴越近，受火焰的影响越大，温度越高。而当检测点的高度距烧嘴中心大于 500mm 时温度较为平稳，没有明显的变化。由此可见，在烧嘴的中心距工件之间存在一个边缘效应区域，该区域温度波动较大，这个区域不能作为有效加热区，避开这个区域，可以排除边缘效应的影响。因此，检测前在确定有效加热区的位置时应考虑边缘区域的影响，即有效加热区最低点应高出距烧嘴中心 500mm，才能排除边缘效应给温度均匀性带来的影响，保证温度均匀性的测试精度。

2） 炉温波动的影响。在进行炉温波动的影响试验时，选取脉冲式控温方式加热炉 1 台，空载状态下，设定温度 900℃ 时，取各检测点 5 次温度读数，每次时间间隔 10min。图 4. 4-3 所示为 900℃ 各检测点温度平均值折线图。

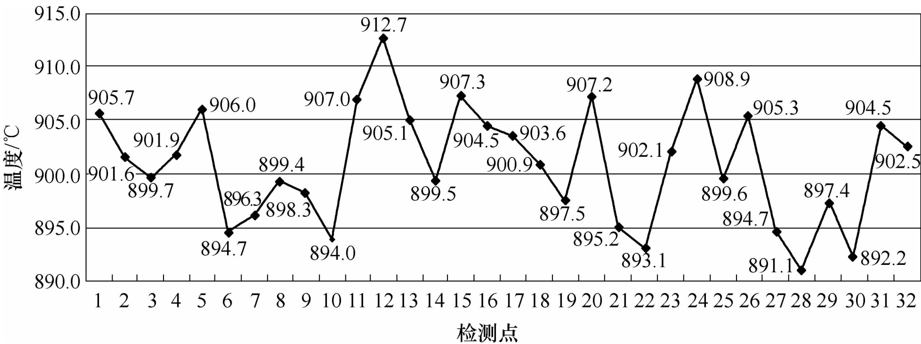


图 4. 4-3　900℃ 各检测点温度平均值折线图

从图 4. 4-3 中可看出，该炉的温度均匀性是（ −8. 9℃，12. 7℃），最低温度点（28）、最高温度点（12） 和最佳温度点（3）。现将折线图中的最低点、最高点和最佳点单独拿出来分析温度随时间的波动情况，表 4. 4-2 为三点的试验数据，图 4. 4-4 ~ 图 4. 4-6 为三点的温度波动曲线。

表 4.4-2　三点温度波动实验数据统计表　（单位：℃）

	检测点	最值	波动	均值	最值	波动	均值	最值	波动	均值	最值	波动	均值	最值	波动	均值	波动	5 次均值
各检测点标准器读数	12	882.3 911.3	29	900.3	890.4 932.2	42	915.4	889.2 931.3	42	914.2	892.3 934.1	42	917.3	889.3 936.3	47	916.3	40	912.7
	3	885.3 909.3	24	897.3	885.3 909.3	24	897.3	889.3 911.7	22	900.5	886.3 913.3	27	899.8	891.0 916.3	25	903.7	24	899.7
	27	877.9 910.9	33	894.4	878.9 895.6	18	887.3	881.9 893.9	12	887.9	878.9 910.2	31	894.6	875.3 907.2	32	891.3	25	891.1

从表 4.4-2 中可看出，当烧嘴关闭时，周围的温度下降，当烧嘴打开时，周围的温度上升。由于燃气炉的加热是靠烧嘴的开或关带动气流的搅拌达到加热目的，温度波动始终存在。从图 4.4-4 ~ 图 4.4-6 中可以看出，每一点的温度波动均较大，波动量最高达到 47℃。但波动量过大是因控制调节参数整定调节没有达到最优化。因此，优化控制调节参数是减少温度波动的主要措施。

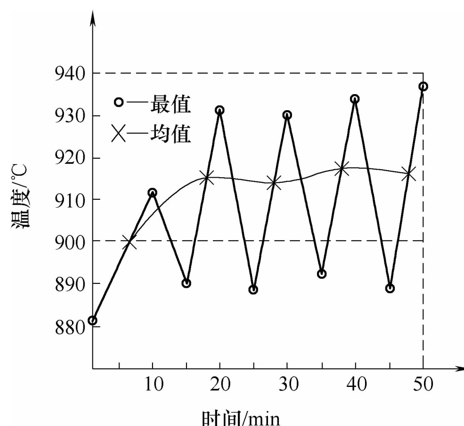


图 4.4-4　最高点（12）温度波动曲线

3）数据处理方法的影响。测试结果是将测试系统的每一检测点的数据与温控系统的设定温度比较，差值的大小即是炉子的实际温度均匀性。由此可见，每一检测点的数据处理方法影响最终测试结论。以下几方面在数据处理中直接影响均匀性的评定结论：①对温控系统误差不进行调整或修正的；②对测试热电偶、温控热电偶误差不进行计算及修正的；③对脉冲式控温方式的热处理炉采集的数据不取最值的均值的；④每一检测点不取六次测量值的均值。

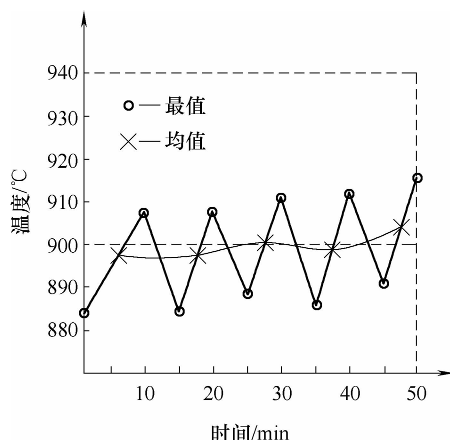


图 4.4-5　最佳点（3）温度波动曲线

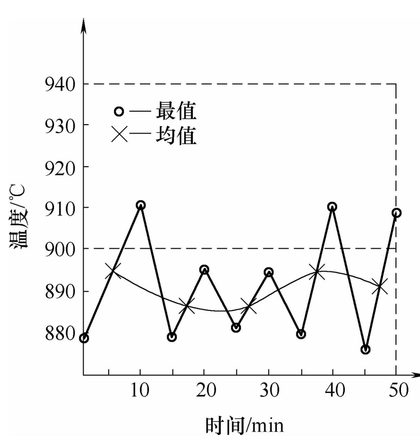


图 4.4-6　最低点（28）温度波动曲线

基于温度均匀性的测试方法，测试系统和控温系统都可以给温度均匀性的检测结果带来影响，而要使控温系统达到最佳工作状态，测试系统得到准确测量结果，对系统的主要影响因素进行分析研究是非常重要的。分析检测系统，边缘效应和控温系统，系统误差、控温热电偶、控温仪表 PID

参数整定的影响以及温度波动、数据处理方法的影响，找出温度均匀性随这些影响因素变化的规律，为制定正确的检测方法，提供了试验数据。

5. 应用说明

1）燃气热处理炉温度均匀性测试技术主要应用于直接燃烧气体加热的热处理炉有效加热区的测定及温度均匀性的测试。本标准规范了测试设备、测试方法、测试结果的处理，对加热设备温控系统、测温时安全操作做出基本要求。

2）为了标准体系的相互协调，燃气热处理炉分类方法与 GB/T 9452 一致。由于燃气热处理炉加热方式和控温方式的非连续性，其温度均匀性难以达到电加热炉的Ⅰ类（±3℃），Ⅱ类(±5)℃的精度，所以，本标准在分类中从ⅢA 类到Ⅵ类共五类，其中只有有效加热区体积不超过 $10m^3$ 可达到ⅢA 类，目前我国实际使用中，确有有效加热区不超过 $10m^3$ 的燃气热处理炉达到ⅢA 类。

3）根据配置计量器具的原则，控温系统允许误差应不超过温度均匀性的 1/3。控温仪表精度根据其允许误差确定。

4）依据热电偶检定规程，廉金属热电偶转换开关附加电势不超过 4μV，贵金属热电偶转换开关附加电势不超过 1μV，换算成温度，误差为 0.1℃。

5）燃气热处理炉必需能够实现温度全自动控制，这是进行温度均匀性测试的一个前提条件。只有这样，有效加热区内的均匀性通过调整后得到的最佳状态，才能复现到日常的生产过程中，并不受到人为因素的影响而使均匀性发生改变。

6）因为装炉量影响直燃式热处理炉的热循环路线和吸热量，所以，装载测试时装炉量尽可能采用炉子的额定装炉量，试验结果证明达到额定装炉量的 70% 及以上，温度均匀性测试结果接近实际工况。

7）燃气热处理炉有效加热区的尺寸、温度均匀性、使用温度均以热处理炉购置合同中技术协议的规定为准。因为不同的热处理炉，其有效加热区的尺寸、温度均匀性、使用温度是不同的，技术协议作为测试时所依据的技术指标。

8）温度均匀性测试中，有效加热区空间大小决定了检测点的位置及检测偶的数量，检测点的位置直接影响到测试结果。在保温过程中烧嘴开、闭引起的瞬时温度波动较大，可能超过温度均匀性的允许范围，但是瞬间的温度波动对产品质量无明显影响。因此，为了模拟热处理产品实际状态，减小烧嘴开、闭引起的瞬时温度波动对温度均匀性测试结果的影响，在空载测试时，测试热电偶测量端建议加金属保护套，对分布在烧嘴、烟道附近的热电偶，必须加保护套。保护套的材料与热处理产品的材料相适应，壁厚应不大于最薄工件的厚度，尽量模拟工件的材质和尺寸；为了易于装配，且与热电偶可靠安装，保护套孔径应略大于所配热电偶的外径，长度约为孔径的 10 倍。

9）在每一次测试过程中，所有的参数都必须反映设备正常生产操作过程。例如：如果生产时连续炉的炉门是敞开的，那么在测试时也必须这么做；如果在生产中没有使用降低升温速率以稳定炉温，那么在测试时也必须这么做。

10）温度均匀性测试分三种情况：空炉、模拟加载（装废料或代用品）、实际生产加载。对于实际生产加载测试必须是在空炉、模拟加载测试合格之后进行。对于空炉或模拟加载测试，测试偶中的任一支读数表现为升高或降低的趋势（持续高或持续低或波动）可进行调整，直到该趋势不再出现。调整时间不作为测试时间。对于实际生产加载的炉子，测试偶可连续升温缓慢的接近设定温度，升高到设定温度应符合温度控制特性的要求。

11）多功能热处理炉或一个有多个工作温度区间的炉子，在满足一个温度区间的要求后，则自动适应第二个温度区间的要求，在该双重温度区间交接温度点不需要双重测试。

12）初始性测试分空载、加载两种情况。空载测试主要是对设备投入使用之前，对控温系统的

设计、热电偶的安装位置、烧嘴及烟道布置、炉门及炉壁的保温性能、炉内气流流动情况等综和指标的检测。加载测试是对炉子加载部件后，加载量的大小、部件的形状、摆放位置、垫铁的高低及形状对炉内气流的影响及功率大小符合性等的检测，这些都是设备能否进行验收的重要技术指标。依据 SAE ASM 2750E 测试温度选择工作温度范围的最低和最高温度。如果工作温度范围超过335℃，应增加测试温度点，使测试温度间隔不大于 335℃。例如，炉子的使用温度区间是 450 ~ 980℃，那么炉子温度测试点可以为 450℃，980℃和一个中间温度点，相邻温差不大于 335℃。

13）周期性测试是对正常使用中炉子的测试，测试温度按实际使用温度确定，依据 SAE ASM 2750E，测试温度与实际使用温度范围的最高、最低温度间隔应不超过 335℃。对于使用温度范围超过 335℃的单一操作温度范围的直燃式热处理炉，其周期测试的测试温度与使用温度上下限间相差不超过 170℃，且两个测试温度相差不超过 335℃，测试温度按实际使用温度确定，测试温度与实际使用温度范围的最高、最低温度间隔应不超过 335℃。对于使用温度范围超过 335℃的单一操作温度范围的直燃式热处理炉，其周期测试的测试温度与使用温度上下限间相差不超过 170℃，且两个测试温度相差不超过 335℃。例如，一台炉子 450 ~ 550℃的温度均匀性要求 ±10℃，600 ~ 800℃的温度均匀性要求 ±15℃，那么炉子必须在 450 ~ 550℃满足 ±10℃的要求，在 800℃满足 ±15℃的要求。初始性温度均匀性测试主要是对新制造的炉子投入使用前各项技术指标的综合评价，是对设备的前期投入的把关。周期性测试主要是对使用中的炉子温度均匀性测试。初始测试要严于周期性测试。

14）检测偶的数量及位置的确定。由于燃气热处理炉体积较大，因此，测试热电偶数量确定的尺寸界线比电热处理炉大。

①对周期式燃气热处理炉测试点数量的确定，GB/T 9452 是以有效加热区尺寸来确定检测偶的数量及位置，面对形状各异、尺寸各异、大体积的燃气炉，无法做到全部套用。因此，该标准中对超出标准中尺寸的，如何确定检测偶的数量级位置的方法做出了规定，既保证了对炉内各角落及中心位置的测试，剩余偶可依据实际使用情况布置，确保了基本要求，又增加了灵活性，可操作性强。有效加热区体积小于 $1m^3$ 时，测试点数量不少于 5 个；有效加热区体积不小于 $1m^3$、小于 $8m^3$ 时，测试点数量不少于 9 个；有效加热区体积不小于 $8m^3$ 时，测试热电偶的数量用公式：$9+1/4\times[35.3\times(\text{有效加热区体积}-8)]^{1/2}$ 计算，该公式与 SAE ASM 2750E 和 GB/T 9452—2012 的不同点是，该标准以 $8m^3$ 为基本测量单元，而不是 $6.4m^3$，$8m^3$ 是依据加热炉依体积确定控温偶数量的经验取得。例如，一支控温热电偶应能反映出炉子（长×宽×高）$=2\times2\times2m^3=8m^3$ 区域内温度是比较经济，并能满足控温要求，即确定 $8m^3$ 起始。

②对于连续式热处理炉，根据测试经验，单元体积法测试点数量变化的分界高度是 0.5m、1m；截面法测试点数量变化的分界高度是 0.3m。

15）测试热电偶的失效：因热电偶烧断、偶丝与外壳短接等，使热电偶不能输出正常的电势值。

16）对于控温方式为脉冲式的燃气热处理炉，在保温阶段，各测试点温度始终围绕设定值上下波动，几乎没有温度稳定的状态，因而无法测得瞬时值。空载时炉膛很少蓄热，故空载测试比装载测试温度波动大。因此，在数据采集时，每一测试点每次的读数应为一个脉冲周期的温度平均值，根据多年的测试经验，空载测试时同一测试点温度波动最低或最高应不大于温度均匀性的 2 倍。

17）依据测量结果剔除异常值的格拉布斯准则，测量次数为 6 次时，如果某测量结果的残差大于 1.887 倍的单次试验标准偏差时，该测量结果为异常值，应剔除。为加严要求，本标准规定残差大于 1.8 倍单次试验标准偏差时，该测量值视为是异常值，予以剔除。

18）节能工作是热处理工艺的重要任务。近年来，国家颁布了一系列关于热处理行业节能方面的标准。燃气热处理炉有效加热区温度均匀性测试过程也必须严格执行。

19）制定温度均匀性测试岗位的安全操作规程。（内蒙古第一机械集团有限公司刘俊平供稿）

三、标准内容（GB/T 30824—2014）

燃气热处理炉温度均匀性测试方法

1 范围

本标准规定了燃气热处理炉有效加热区温度均匀性测试的实施条件和测试周期、测试装置、测试方法、有效加热区温度均匀性的评定等。

本标准适用于在炉膛内直接燃烧气体加热的燃气热处理炉，包括周期式（间歇式）、连续式的热处理炉。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1598 铂铑10-铂热电偶丝、铂铑13-铂热电偶丝、铂铑30-铂铑6热电偶丝

GB/T 2614 镍铬-镍硅热电偶

GB/T 4989 热电偶用补偿导线

GB/T 4990 热电偶用补偿导线合金丝

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 13324 热处理设备术语

GB/T 17615 镍铬硅-镍硅镁热电偶丝

GB/T 18404 铠装热电偶电缆及铠装热电偶

3 术语和定义

GB/T 9452、GB/T 7232、GB/T 13324界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 控温系统误差 temperature control system error

由温度传感器、补偿导线、显示调节仪表等组成的温度控制系统对温度测量结果产生的偏移。其值为温度传感器、补偿导线、显示调节仪表等各组成部分误差的代数和。

3.2 最大允许误差 maximum permit error

技术规范、标准中规定的测量器具、测量系统的允许误差极限值。

3.3 修正值 correction

误差的相反数。未修正的测量结果与修正值用代数方法相加，得到真实测量结果，以补偿系统误差的影响。

3.4 初始测试 initial test

燃气热处理炉投入使用前首次对有效加热区温度均匀性进行的测试。

3.5 周期测试 cycle test

使用中的燃气热处理炉按一定的时间间隔对有效加热区温度均匀性进行的测试。

3.6 模拟装载测试 simulation load test

在装入代用品或废品的情况下对燃气热处理炉有效加热区温度均匀性的测试。

3.7 实际生产装载测试 actual production load test

在装入产品的情况下对燃气热处理炉有效加热区温度均匀性的测试。

4　燃气热处理炉的分类

燃气热处理炉按有效加热区温度均匀性大小分为五类，每类热处理炉的温度均匀性、控温仪表准确度等级、控温系统允许误差要求见表 1。

表 1　燃气热处理炉按温度均匀性分类及技术要求

燃气热处理炉类别①	温度均匀性/℃	控温仪表准确度等级不低于（%）	控温系统允许误差/℃
ⅢA	±8	0.5	±2.5
Ⅲ	±10	0.5	±3
Ⅳ	±15	0.5	±5
Ⅴ	±20	0.5	±7
Ⅵ	±25	1.0	±8

①　有效加热区体积不超过 $10m^3$ 可达到ⅢA 类。

5　实施条件和测试周期

5.1　实施条件

确定燃气热处理炉有效加热区温度均匀性是否符合热处理工艺文件的规定，应按下列任何一种方法进行：

a）初始测试：

1）新制造的燃气热处理炉首次应用于生产；

2）大修或技术改造后的燃气热处理炉；

3）生产对象或工艺变更，对温度均匀性要求提高或使用温度变更；

4）扩大工作温度范围；

5）有效加热区位置变更或体积扩大；

6）控温温度传感器位置或插入深度变更；

7）耐火材料型号或厚度改变；

8）燃烧器类型、结构、尺寸、数量、位置改变；

9）烟道的位置、数量、开度大小改变；

10）燃烧压力设定改变；

11）温度控制方式或温度控制参数改变；

12）垫铁的尺寸、形状、位置改变。

b）周期测试：使用中的燃气热处理炉，应按规定的时间间隔（测试周期）进行有效加热区温度均匀性的测试。

5.2　测试周期

5.2.1　燃气热处理炉温度均匀性测试周期和控温仪表的检定周期见表 2。

5.2.2　利用率较低的燃气热处理炉，其测试周期可适当延长，最长不超过 12 个月。建议控温仪表、控温热电偶的检定周期与燃气热处理炉温度均匀性的测试周期同步。

表 2　温度均匀性测试周期和控温仪表检定周期　　（单位：月）

燃气热处理炉类别	温度均匀性测试周期	控温仪表检定周期	控温热电偶检定周期
ⅢA	6	6	6
Ⅲ	6	6	6
Ⅳ	6	6	6
Ⅴ	6	6	6
Ⅵ	12	12	12

6 测试装置

6.1 组成和连接方式

测试装置由热电偶、补偿导线、测试仪表（或计算机）、转换开关及测温架等组成。测试装置接线图见图1。

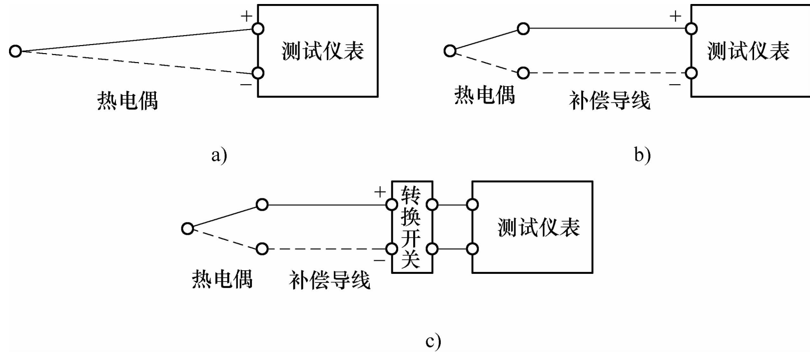


图1 测试装置接线图

a）热电偶直接与测试仪表连接 b）热电偶通过补偿导线与测试仪表连接

c）热电偶通过补偿导线、多点转换开关与测试仪表连接

注：1. 图1a适用于测试点数量小于测试仪表通道数、热电偶长度足够、各测试热电偶参考端温度相对稳定的情况。

2. 图1b适用于测试点数量小于测试仪表通道数、热电偶长度不足或各测试热电偶参考端温度不稳定的情况。

3. 图1c适用于测试点数量大于测试仪表通道数、各测试热电偶参考端温度不稳定的情况。

6.2 热电偶

测试用热电偶应符合GB/T 1598、GB/T 2614、GB/T 17615、GB/T 18404的要求，并按计量器具的要求进行检定或校准，给出各个温度点的修正值。测试热电偶按表3选用。

表3 燃气热处理炉温度均匀性测试推荐使用热电偶

热电偶名称	分度号	等级	使用温度/℃	允许偏差[①]/℃	检定周期[②]/月
镍铬-镍硅（铝）	K	Ⅰ	0～375	±1.5	6
			375～1000	±0.4%t	
		Ⅱ	−40～333	±2.5	
			333～1200	±0.75%t	
镍铬硅-镍硅镁	N	Ⅰ	0～375	±1.5	6
			375～1000	±0.4%t	
		Ⅱ	−40～333	±2.5	
			333～1200	±0.75%t	
镍铬-铜镍（康铜）	E	Ⅰ	−40～375	±1.5	6
			375～800	±0.4%t	
		Ⅱ	−40～333	±2.5	
			333～900	±0.75%t	
铂铑10-铂	S	Ⅰ	0～1100	±1	12
			1100～1600	±［1+0.003×（t−1100）］	
		Ⅱ	0～600	±1.5	6
			600～1600	±0.25%t	

（续）

热电偶名称	分度号	等级	使用温度/℃	允许偏差①/℃	检定周期②/月
铂铑 13-铂	R	Ⅰ	0～1100	±1	12
			1100～1600	±［1+0.003×（t-1100）］	
		Ⅱ	0～600	±1.5	6
			600～1600	±0.25%t	

① t 为被测温度的绝对值（℃）。

② K、N、E 等分度号的廉金属热电偶，测试温度在 600℃以下时，测试次数不超过 20 次应进行检定或校准；测试温度在 600℃以上时，测试次数不超过 10 次应进行检定或校准；最长不超过 6 个月。

6.3　补偿导线

连接补偿导线时，补偿导线应符合 GB/T 4989、GB/T 4990 标准要求。并经检定，按表 4 选用。测试用补偿导线检定周期不超过 1 年。

表 4　温度均匀性测试推荐使用的补偿导线　（单位：℃）

热电偶分度号	补偿导线型号	补偿导线名称	代号	参考端温度	允差误差
K	KX	镍铬 10-镍硅 3 延长型	KX-GS	-20～100	±1.1
N	NX	镍铬 14 硅-镍硅 4 镁延长型	NX-GS	-20～100	±1.1
E	EX	镍铬 10-铜镍 45 延长型	EX-GS	-20～100	±1.0
S	SC	铜-铜镍 0.6 补偿型	SC-GS	0～100	±2.5
R	RC	铜-铜镍 0.6 补偿型	RC-GS	0～100	±2.5

6.4　测试仪表

测试仪表的精度等级应不低于热处理炉控温仪表的精度等级，可以使用炉温跟踪仪、多功能过程信号校验仪、多通道温度检测记录仪等。测试仪表应按计量器具的要求进行检定，给出各个温度点的修正值。

6.5　转换开关

用于各个通道间的信号切换，应定期进行寄生电势的测试，测试周期应不超过 1 年。配接 K、N、E 等分度号的廉金属热电偶转换开关，其寄生电势应不超过 4μV，配接 S、R 等分度号的贵金属热电偶的转换开关，其寄生电势应不超过 1μV。

6.6　测温架

用于固定热电偶的支架或料框，其大小和形状随测试方法而定。此种材料应有足够的强度，测试后应无明显变形。

7　测试方法

7.1　测试要求

7.1.1　燃气热处理炉应实现温度自动控制，测试合格的状态应能复现到生产过程中。

7.1.2　补偿导线、转换开关、显示仪表连接部分的环境温度应进行控制，测试过程温度变化应不超过 1℃。

7.1.3　初始测试应先进行空载测试，测试合格后再进行装载测试。装载测试时装载量采用炉子的额定装载量，或最低限度不少于额定装载量的 70%。

7.1.4　周期测试采用空载或装载测试两种方式均可，当空载测试不合格时，可进行装载测试，测试结果以装载测试为准。装载测试时，装载量应与实际生产一致。

7.1.5 空载测试时，分布在烧嘴、烟道附近的测试热电偶测量端应加保护套。分布在其他位置的测试热电偶测量端也建议加保护套，以减小温度波动对测试结果的影响。保护套的材料与热处理产品的材料相适应，长度约为孔径的10倍，壁厚应不大于最薄工件的厚度。装载测试时，测试热电偶测量端应尽可能与工件接近。

7.1.6 燃气热处理炉应以工艺规定的升温速度升温，炉温不得升到高于测试温度后再降到测试温度。

7.1.7 测试过程中，炉子所有参数应反映设备正常生产操作过程。

7.1.8 排布在有效加热区角、端面的热电偶不允许失效，两支临近的热电偶不允许同时失效，测试热电偶最大允许失效数量见表5。

表5 测试热电偶最大允许失效数量 （单位：支）

使用数量	≤9	10~16	17~23	24~39	≥40
允许失效数量	0	1	3	5	≤10%

7.2 测试温度确定

7.2.1 初始测试

选择工作温度范围的最低和最高温度点，如果工作温度范围超过330℃，应增加温度测试点，使测试的温度间隔不大于330℃。

7.2.2 周期测试

测试温度按实际使用温度点确定；当有两个及以上实际使用温度点时，测试温度与实际使用温度范围的最高、最低温度间隔应不超过330℃；如果工作温度范围超过330℃，应增加温度测试点。

7.3 测试点的数量和位置的确定

7.3.1 测试方法及适用对象

7.3.1.1 测试方法按测试过程热电偶的状态分为固定测试点法和移动测试点法。在测试过程中热电偶位置固定不变的称为固定测试点法，也称体积法；在测试过程中热电偶随着热处理炉传送机构穿越整个有效加热区的测试方法称为移动测试点法，移动测试点法又分为单元体积法和截面法。

7.3.1.2 体积法适用于周期式（箱式、井式）燃气热处理炉以及用移动测试点法难以实施的连续式热处理炉；单元体积法适用于用托盘、料框等送料的连续式热处理炉；截面法适用于不用托盘、料框等装料，工件直接由传动机构输送的连续式热处理炉。

7.3.2 体积法测试点数量和位置的确定

7.3.2.1 体积法测试点数量和位置根据有效加热区的体积确定，应能反映有效加热区的温度分布特性，见表6。

表6 体积法（固定测试点法）测试点的数量①

有效加热区体积/m^3	<1	<8	<9	<10	<12	<15	<24	<72	<108
测试热电偶数量/支	5	9	10	11	12	13	15	20	24

① 有效加热区体积小于8m^3时，测试热电偶的数量按本表确定；有效加热区体积不小于8m^3时，测试热电偶的数量用公式：$9+1/4\times[35.3\times(\text{有效加热区体积}-8)]^{1/2}$计算，也可根据表中的数据用内插法计算。

7.3.2.2 周期箱式炉测试点数量和位置按表7确定，有效加热区体积超出表7以外的，按表6规定增加测试点，并在长度、宽度、高度方向均匀布置。

表 7　周期箱式热处理炉测试点数量和位置示意图

有效加热区体积/m³	测试点位置和数量示意图	有效加热区体积/m³	测试点位置和数量示意图
≤1		>1 ~ ≤8	

7.3.2.3　周期式井式炉测试点数量和位置按表 8 确定，有效加热区体积超出表 8 以外的，按表 6 规定增加测试点，并在高度、圆周方向均匀布置。

表 8　周期井式热处理炉测试点数量和位置示意图

有效加热区体积/m³	测试点位置和数量示意图	有效加热区体积/m³	测试点位置和数量示意图
<1		≥1 ~ <8	

7.3.3　单元体积法测试点数量和位置的确定

一个单元体积即托盘、料框等按额定装载量装载后的体积。单元体积法测试点数量和位置根据单元体积的尺寸确定，测试点的分布应能反映单元体积内的温度分布状况。确定方法如下：

a）托盘、料框宽度小于 1.5m、长度小于 1.0m 时，若有效加热区高度小于 0.5m，应布置 3 支测试热电偶。在沿送料方向的前后两端面的对角布置 2 支，在单元体积的几何中心布置 1 支；若有效加热区高度不小于 0.5m、小于 1.0m，应布置 5 支测试热电偶；在沿送料方向的前后两端面对角各布置两支，在单元体积的几何中心布置 1 支。若有效加热区高度不小于 1.0m，应布置 9 支测试热电偶。在前后两端面的 4 角各布置 1 支，在单元体积的几何中心布置 1 支。

b）托盘、料框宽度不小于 1.5m、长度不小于 1.0m 时，若有效加热区高度小于 0.5m，应布置 5 支测试热电偶。在沿送料方向的前后两端面的对角分别布置 2 支，在单元体积的几何中心布置 1 支；若有效加热区高度不小于 0.5m、小于 1.0m，应布置 9 支测试热电偶。在前后两端面的四角各布置 1 支，在单元体积的几何中心布置 1 支；若有效加热区高度不小于 1.0m，应布置 11 支测试热电偶。在前后两端面的 4 角各布置 1 支，在前后两端面的中心布置 1 支，在单元体积的几何中心布置 1 支。

c）单元体积法热电偶数量和位置示意图见表 9。

表 9　连续式热处理炉单元体积法测试点数量和位置示意图　　（单位：m）

料筐宽 b	料筐长 L	有效加热区高 h		
		<0.5	0.5 ~ <1.0	≥1.0
<1.5	<1.0			
≥1.5	≥1.0			

7.3.4　截面法测试点数量和位置的确定

测试热电偶定位于垂直传送方向的截面上，测试热电偶的数量和位置应能反映截面温度分布状况，确定方法如下：

a）有效加热区高度不大于 0.3m、宽度不大于 2.4m，布置 3 支测试热电偶。在横截面的对角布置 2 支，在横截面的几何中心布置 1 支；宽度超过 2.4m 时每增加 0.6m，增加 1 支测试热电偶。

b）有效加热区高度大于 0.3m，或截面积不大于 0.75m^2，至少需要 5 支测试热电偶；截面积大于 0.75m^2、不超过 1.5m^2，至少需要 7 支测试热电偶；截面积大于 1.5m^2，至少需要 9 支测试热电偶。

c）新增测试热电偶在测温截面上均匀排布。

d）截面法热电偶数量和位置示意图见表 10。

表 10　连续式热处理炉截面法测试点数量和位置示意图　　（单位：m）

有效加热区高 h	
<0.3	≥0.3

注：L—假定有效加热区长度；b—假定有效加热区宽度。

7.4　测试顺序及方法

7.4.1　检查测试系统的测试仪表、测试热电偶、补偿导线、转换开关等，应在检定有效期内。

7.4.2　核查控温系统的误差（包括热电偶、补偿导线、温度控制显示部分）。系统误差计算见式（1），控温系统误差应符合表 1 的要求。如控温系统误差不符合表 1 要求，对控温系统进行调整。

7.4.3　按测试方法将测试热电偶可靠固定或绑扎在测温架或工件等选定的位置上，需要时加保护

套。

7.4.4　将热电偶的参考端引出炉外，按图1与测试仪表连接，热电偶参考端引出位置应不影响测试精度。使用炉温跟踪仪时，热电偶直接与记录器连接。

7.4.5　燃气热处理炉以工艺规定升温速度升温，当控温系统的温度达到设定温度，对空载测试，当各点数据变化趋于稳定时，按表11规定的时间间隔和次数开始记录各测试点温度；对装载测试，当控温系统的温度达到设定温度时，按表11要求记录各测试点的温度，总测试时间应不超过工艺规定的保温时间。

7.4.6　所有的检测数据如实记入附录A。

表11　测量间隔和测量次数　（单位：min）

炉型	周期式热处理炉		连续式热处理炉		
工艺保温时间	<30	≥30	<30	30～120	>120
两次测量时间间隔	≤5	5～10	≤3	5～10	10～15
测量次数	≥3	≥6	≥3	≥6	≥8

7.5　数据处理

7.5.1　控温系统误差计算公式见式（1）。

$$W_c = w_{c1} + w_{c2} \tag{1}$$

式中　W_c——控温系统误差（℃），即控温系统各部分误差的代数和；

w_{c1}——热电偶误差（℃）；

w_{c2}——在现场测得的控温仪表连接补偿导线后的市值误差（℃）。

7.5.2　测试系统误差计算公式见式（2）。

$$W_s = w_{s1} + w_{s2} + w_{s3} \tag{2}$$

式中　W_s——测试系统误差（℃），即系统各部分误差的代数和；

w_{s1}——测试用热电偶在测试温度的误差（℃），由其有效期内的检定证书给出；

w_{s2}——测试热电偶所接补偿导线在使用温度的误差（℃），由其有效期内的检定证书给出；

w_{s3}——测试仪表在测试温度的示值误差（℃），由其有效期内的检定证书给出。

7.5.3　各测试点读数修正公式见式（3）。

$$W_j = w_i - w_s \tag{3}$$

式中　W_j——各测试点实际值，单位为摄氏度（℃）；

w_i——各测试点读数，单位为摄氏度（℃）；

w_s——测试系统误差，每个温度点、各测试点应单独计算，单位为摄氏度（℃）。

7.5.4　剔除异常值：如果其中一个测量值与该点测量平均值之差大于1.8倍标准偏差，则认为是异常值，予以剔除，在记录中注明，此值不参与温度均匀性测试结果的评定。

7.5.5　用固定测试点法（体积法）测试，各测试点的实际温度值为各次测量结果的算术平均值。

7.5.6　用移动测试点法（截面法、单元体积法）测试，各测试点的实际温度值为在同一位置各次测量的算术平均值；如果测试过程测试热电偶位置处于连续变化中，各测试点的实际温度为各次测量的瞬时值。

7.5.7　脉冲式烧嘴的热处理炉在空载测试时，同一测试点温度波动最低或最高不能大于温度均匀性的2倍，每次读数应为一个脉冲周期的温度平均值。

7.5.8　各检测点实际温度与设定值的最大偏差，即为被测热处理炉有效加热区的温度均匀性。

8　有效加热区温度均匀性的评定

8.1　依据有效加热区温度均匀性大小，对照表1进行热处理炉类别的评定。评定结果若合格，则

记入附录 B 有效加热区温度均匀性测试合格证中。

8.2　当温度均匀性不能满足要求时可降低类别，在满足新的有效加热区温度均匀性的条件下，可以不进行重复测试。

9　测试记录和测试报告

测试记录及测试报告应包含以下内容（见附录 A 和附录 B）：

a）被测燃气热处理炉概况。包括客户名称、燃气热处理炉名称、编号、型号、类别、制造单位、制造日期、常用温度、测试温度、控温设备名称、热源名称、温度调节方式、控温传感器插入深度、有效加热区尺寸等。

b）被测燃气热处理炉温度测量系统信息。包括控温仪表、记录仪表、控温热电偶、记录热电偶的编号、型号、测量范围、精度等级、检定日期、有效日期等。

c）本次测试标准信息。包括依据文件、所用设备（测试仪表、热电偶）的名称、型号、编号、测量范围、测量不确定度/准确度等级/最大允许误差之一、有效日期、每支测试热电偶在测试温度的修正值等。

d）本次测试信息。包括实施条件、装载量、炉膛气氛、有效加热区位置、测试点分布示意图等。

e）测试数据及结果。包括检定或校准温控系统各部分误差的数据；温度均匀性测试的所有数据，包括设定温度、升温时间、空气预热温度、数据采集次数、每次数据采集时间、控温仪表示值、测试仪表示值、温度均匀性计算结果、各测试点温度分布折线图、测试结果不能满足要求时的建议处理方式等。

f）测试中包含的局限性或限制条件。

g）检测日期、有效日期。

h）责任者（检测者、审核者、批准者姓名）。

10　管理

10.1　温度均匀性检测的全部测试记录，应按各单位的管理制度存入档案。

10.2　燃气热处理炉有效加热区的均匀性测试应出具测试报告或检测报告。检测合格的，列出下次检测日期，同时出具合格标志，合格标志应悬挂于热处理炉的明显位置。

10.3　超过规定有效期的燃气热处理炉应停止使用。

10.4　有效加热区测试合格后，控温热电偶的插入深度应作明显标记，直到下次测试前不得移动，否则应重新测试。

附　录　A

（资料性附录）

燃气热处理炉有效加热区温度均匀性测试记录表

报告编号：

一、热处理炉概况					
客户名称		热处理炉名称		型号	
编号		类别		制造厂	
制造年月		常用工作温度		控温设备名称	
热源名称		温度调节方式		控温偶插入深度	
有效加热区尺寸（$l \times b \times h$）					

（续）

二、温度测量系统信息

仪表、热电偶	本厂编号	型号	测量范围	精度等级	检定日期	有效日期
控温仪表						
记录仪表						
控温热电偶						
记录热电偶						

三、标准信息

检测依据文件：

本次检测所用设备

名　　称	型　　号	编　　号	测量范围	测量不确定度/准确度等级/最大允许误差	有效日期
电测设备					
热电偶					

各测试点热电偶编号及其修正值

检测点					
热电偶编号					
修正值					

四、测试信息

测试类型		载荷情况	

有效加热区位置

（单位：mm）

底部距炉底板距离	顶部距炉底板距离	前方距炉门（　）距离	后方距炉后壁（　）距离	两侧距侧壁距离

测试点分布图	

（续）

五、检测数据及结果

1. 温控系统误差

（单位:℃）

温控系统误差	校准点				
	系统	热电偶误差	控温仪表与补偿导线组合误差	系统误差	修正值
	系统 1				
	系统 2				
	系统 3				

2. 有效加热区测试

设定温度：____℃，升温时间：__时__分～__时__分，空气预热温度：__℃

次数		1	2	3	4	5	6
检测时间							
控温仪表指示/℃	1						
	2						
	3						
各测试点标准器读数/℃	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						

3. 温度均匀性：

检测者：____________审核者：________检测日期：____年____月____日　有效日期：____年____月____日

附　录　B

（资料性附录）

有效加热区温度均匀性测试合格证

客户名称		编　　号	
燃气炉名称		型　　号	
测试温度/℃		有效加热区温度均匀性/℃	
控温热电偶插入深度/mm		类别	
有效加热区尺寸（$l \times b \times h$）/mm			

有效加热区图示及温度均匀性测试点位置

底部距炉底板距离/mm	顶部距炉底板距离/mm	前方距炉门（　）距离/mm	后方距炉后壁（　）距离/mm	两侧距侧壁距离/mm

检测日期：　　年　　月　　日		检测者	
有效日期：　　年　　月　　日		审核者	
报告证书专用章		批准者	

第五节　钢铁热处理零件硬度测试通则

一、概论

硬度是零件热处理后的最主要质量指标，可以综合反映材料的强度和硬度，而且测试操作相对简便易行，几乎所有的热处理企业都具备这一测试手段。硬度测试作为检查零件热处理后质量以及

热处理工艺状况的重要手段，在生产中应用十分广泛。目前，用于钢铁热处理件的硬度测量方法较多，如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、肖氏硬度、里氏硬度、努氏硬度等。虽然各种硬度试验的具体方法不同，而且要求各异，但也有共同的要求和通用规则，根据具体情况正确选择硬度测量方法和正确考虑一切影响准确测定的因素，如待检件选取、对检验设备与人员要求、测试部位与测试点的确定、测试数据处理等，都对测试质量有重大影响。然而，由于目前缺乏必要的原则规定，各企业（特别是中、小企业）无章可循，使硬度测试的准确性往往难以保证。因此，制定本标准是十分必要的。

本标准是在多方面分析国内外相关资料，结合国内实际情况并考虑到各方要求的基础上进行编制的。本标准制定于 1992 年，修订于 2006 年。

二、标准应用说明

1. 关于适用范围

本标准只适用于室温硬度测试，不适用于高温或低温硬度测试。

2. 关于术语

本标准中的术语均引自 GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》、GB/T 10623《金属材料　力学性能试验术语》。

3. 关于待测试件及测试部位的选取及要求

本标准对待测试件提出三个要求：一是待测试件表面不应有影响测试结果的污物；二是待测试件应具有足够的质量、刚度和厚度，以保证待测试件在测试过程中不产生振动和发生位移；三是应保证硬化层的原有硬度的规定，以保证使测试得到的硬度值能正确表征表面硬化层的硬度。同时提出待测试件面应避免影响表面硬度值的过热或冷作硬化、表面氧化、脱碳等因素。

零件热处理后的硬度测试以抽检为主。目前，大多数企业仍在沿用百分比抽样检查法。其具体做法是从一批零件中抽取一定百分比的零件进行测试，如抽检零件中有不合格品时，则判定该批零件不合格或需要再进行加倍抽检。百分比抽检法对大批量零件的质量控制过严，而对小批量零件的质量控制过宽，因而是不合理的，正在被淘汰。取而代之的是以数理统计为基础的新型抽样检查方法。近年来，国家也颁布了多项这类标准，如 GB/T 2828. 1《计数抽样检验程序　第 1 部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划》。新型抽样法解决了百分比抽样法的不足，在对稳定生产的连续批零件进行抽检的场合已得到较广泛应用。但是，热处理零件的生产特点是多品种而批量不定。在这种条件下，实施新型抽样检查方法十分困难，也无成熟经验。故对正常批量零件的硬度抽检，本标准不排除使用百分比抽样法。

进行百分比抽检时的取样率是受多种因素影响的，对其做出具体的统一规定十分困难。例如，同样是对一般件的硬度抽样率，不同行业或不同场合下的规定是不同的。重机行业规定为 30% ~ 50%，机床行业规定不少于 5%，淬火回火后规定不少于 10%，感应淬火后规定不少于 30%，火焰淬火后规定不少于 5%。基于这种情况，本标准对抽样率未做具体规定，只是原则性规定“批量零件抽检硬度时，抽样率与抽取方式应保证抽取的零件有代表性”。

4. 关于硬度测试方法的一般选用原则

在金属硬度测量方法中，布氏、洛氏、维氏及肖氏硬度试验方法均有正式的国家标准，故具有统一性和科学性，其测量数据可信且有可比性。对钢铁热处理件的硬度测量，原则上应按这些方法进行。其中，布氏、洛氏、维氏硬度试验方法（即 GB/T 230. 1、GB/T 231. 1、GB4340. 1）属压痕硬度试验，其测量精度高、试验数据准确可靠，它们是最基础的硬度试验方法，应用也最广，只要条件允许就必须优先采用。为方便硬度检验人员能够更清晰地了解各种硬度符号及表示方法和测试

原理，本标准中在附录 A 和 B 中均做了说明。

实际生产中，除上述标准化的方法外，一些未标准化的硬度试验方法（如锤击式布氏硬度试验方法）也常被采用。但非标准化的硬度试验方法缺乏统一性，需要经有关各方协商同意后方可采用。硬度检测的一个特点是测量方法的适用范围。为此，标准附录 C 中给出了在钢铁热处理件硬度检验中常用的几种硬度测量方法的适用范围。

里氏硬度试验方法较新，其试验原理是 1978 年由瑞士人 Dr. Dietmar Leeb 首次提出的。它是根据冲头落到试样表面后的回跳速度测量硬度。里氏硬度计有体积小、易携带、测量范围广等特点，尤其是引用微处理技术，使得测量及硬度值的换算、打印与记录全部自动完成，用它进行现场硬度测试十分方便。目前，该法已受到人们的高度重视，普及较为迅速。与肖氏硬度计相比，用里氏硬度计测量时的人为因素影响相对较小，其测量值相对较准确。但是，里氏硬度试验法属回跳法（与肖氏硬度试验相同），特别是里氏硬度值必须换算成其他硬度才有意义，而换算必然会引入误差。因此，综合而言，里氏硬度试验的检测精度与肖氏等现场硬度测量方法处于同一水平，里氏硬度计也只能在对硬度检测精度要求不高的场合下使用。

对于轧辊类件的硬度测试方法，本标准明确规定应按 GB/T 13313《轧辊肖氏硬度试验方法》进行。

5. 关于不同工艺热处理后零件的表面硬度测试方法

零件在不同技术要求下的热处理工艺不同，其硬度值也不同。本标准给出了经不同工艺热处理后钢铁零件表面硬度测试方法和试验力的选用原则。值得一提的是，表面硬化件在热处理件中占较大比重，测量其表面硬度实际上是测量表面硬化层的综合硬度。影响表面硬化层硬度值的因素很多，当硬化层较薄时，这些因素的影响会更为显著，故检测表面硬度时应慎重选择试验方法。同时，对试验力的正确选择也很重要，试验力选择过大，会将硬化层打穿；若试验力选择过小，由于测量误差或测量到某个不均匀组织误差会更大。这里需要特别指出，洛氏及维氏硬度试验方法中，给出的试验力（或硬度标尺）与试验层的最小厚度及硬度值之间的关系，不适应于硬度不均匀的硬化层。在测量表面硬化件的表面硬度时，一般不能按这些关系直接选择试验力或硬度标尺。本标准中对于不同的表面热处理件（如表面淬火件、渗碳件与碳氮共渗件、渗氮件、氮碳共渗件及其他渗非金属件、渗金属件）、不同的硬化层深度，也给出了一般选用硬度测试方法的原则。这些原则是建立在长期生产实践及综合国内外有关资料基础之上，并经过制标工作的部分试验验证而得出的。

对于表面淬火件的硬度测试一般采用 C 标尺洛氏硬度计测量，只有当硬化层较薄（<0.8mm）时，才考虑选用其他硬度计测量。

碳氮共渗件的表面硬度一般为 57～62HRC，渗层深度一般不超过 0.75mm。在实际生产中，对碳氮共渗件的表面硬度普遍采用 HRC 标尺测量。应注意，用 HRC 标尺测量时，一般要求渗层深度在 0.65mm 以上，否则测量易受心部硬度影响而不能得到正确读数。对表面渗层深度在 0.40～0.65mm 的零件，其表面硬度最好用 HRA 标尺测量。对渗层深度在 0.4mm 以下的零件，用维氏硬度计（49.03N 或 98.07N 试验力）或用 HR15N 测量，一般均可得到稳定的表面硬度读数。上述原则也适用于渗层深度在 0.8mm 以下的渗碳件。

渗氮件的表面渗氮层较薄，一般为 0.2～0.6mm。其表面硬度测量时，正确选择试验方法及试验力十分重要。目前，在欧洲、日本及我国广泛采用维氏硬度计测量渗氮件。在试验力的选择方面，我国经过长期的生产实践已有较为一致的看法，即当渗层深度≥0.3mm 时，一般用 98.07N，渗层深度≤0.2mm 时，不超过 49.03N。表面洛氏硬度计检测渗氮件快速、方便，在美国较普遍采用，我国一些企业也有采用。渗氮件用 HR15N 测量时，其渗氮层深度应在 0.3mm 以上。

用携带式硬度计测量表面硬化件的表面硬度时，对表面硬化层深度也有一定要求。对于肖氏硬度试验，当心部硬度较低时，硬化层最小深度应为0.4mm：当心部硬度不小于30HS时为0.25mm。对于里氏硬度试验，采用D型测头时，硬化层深度一般要求在0.8mm以上；采用C型测头时，硬化层深度为0.2mm。对0.1mm的硬化层，可用超声硬度计测量。经表面硬化处理的大件，其表面硬化层通常较深，用肖氏、里氏或超声硬度计测量一般均可得到真实的表面硬度。

6. 关于试验点数

在国家标准硬度试验方法中，对有效的试验点数一般规定为不少于3点（肖氏硬度试验不少于5点）。本标准要求，按图样或订货合同要求确定测试点数，每一个测试点对应一个硬度测量值。

洛氏硬度试验方法明确规定每个试样在正式测量前应先测试一点，该点不记入测试点数，这一规定在零件硬度检验中有普遍意义。理由是零件的硬度检验是以直接检验零件实物为主，由于种种原因等检件经制备后仍经常达不到硬度试验方法的要求，而且零件的形状、尺寸变化很大，硬度试验前对待检件的安置也经常遇到困难，时常出现被检面与硬度计压头不垂直或待检件在试验中发生移动、偏重或变形的情况。通过正式测量前的试测一点，可及时发现问题，减少测量误差，并避免不必要的争议。

7. 关于硬度换算

硬度换算有严格的条件，只能用于某些特殊场合。目前，各种硬度值之间的换算在生产检验中较为普遍，但其中的某些换算是不合理的，因而不能允许。例如，对小件、薄件及渗氮层，不能用C标尺洛氏硬度计测量，故不能用HRC标准硬度，也不允许用HV测量后再换算成HRC来判别合格与否。为此，本标准明确规定，对于硬度或与强度之间的换算推荐按GB/T 1172《黑色金属硬度及强度换算值》，对于GB/T 1172未包括的换算，应在通过对比测试得到可靠换算依据的条件下进行。同时应在换算值后面加括号注明硬度实测值，如48.5HRC（75.0HRA）。对于用里氏硬度换算的其他硬度，应在里氏硬度符号之前附以相应的硬度符号，如400HVHLD表示用D型冲击装置测定的里氏硬度换算的维氏硬度值为400。

8. 关于硬度值的表示

硬度值的表示应符合相应国家标准硬度测试方法的规定，见附录A。在硬度试验或检验报告中，只给出一个硬度平均值的记录方式存在弊端，易造成错检与漏检。例如，某一零件的硬度平均值在要求范围内可能有三种情况，一是各测点硬度值均超差，但有高有低，平均后合格；二是有一点或部分测点硬度值超差，但平均后合格；三是各测点硬度值均合格。若在给出硬度平均值的同时给出计算平均值所用的各测点硬度值，将有助于对检测数据的正确评判。

本标准增加了关于里氏硬度值修正的规定，里氏硬度值的修正应按GB/T 17394《金属里氏硬度试验方法》附录A1中的规定。该附录给出了里氏硬度试验四种冲击装置分别在不同试验方向测得的硬度值所对应的修正值。操作时，可根据所测硬度值所处的范围对应选取修正值。此外，本标准还明确规定了硬度值的修约按相应的国家标准硬度试验方法的规定进行。对于现行GB/T 230、GB/T 231、GB/T 4340等硬度试验方法标准中对硬度值的修约规则无明确规定，因此，硬度值的修约按GB/T 8170《数值修约规则》执行。

9. 仲裁试验

本标准规定对于硬度测试值发生异议或供需双方的硬度测试结果不一致时，可进行仲裁试验。仲裁试验可在共同认可的条件下双方共同测试，也可由权威部门用规定的测试方法进行测试，依据测试结果重新判定。（北京机电研究所李俏供稿）

三、标准内容（JB/T 6050—2006）

钢铁热处理零件硬度测试通则

1　范围

本标准规定了钢铁热处理零件硬度测试方法与硬度计选择、测试结果的判定、仲裁及测试报告。

本标准适用于钢铁热处理零件在室温环境中硬度的测试。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过该标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1—2004　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 231.1—2002　金属布氏硬度试验　第1部分：试验方法（ISO 6506-1：1999，MOD）

GB/T 1172—1999　黑色金属硬度及强度换算值

GB/T 2828.1—2003　计数抽样检验程序　第1部分：按接受质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划（ISO 2859-1：1999，IDT）

GB/T 4340.1—1999　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（ISO 6507-1：1997，MOD）

GB/T 4341—2001　金属肖氏硬度试验方法（eqv JIS Z 2246：1992）

GB/T 8170—1987　数值修约规则

GB/T 13313—1991　轧辊肖氏硬度试验方法

GB/T 17394—1998　金属里氏硬度试验方法

GB/T 18449.1—2001　金属努氏硬度试验　第1部分：试验方法（neq ISO 4545：1993）

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1　钢铁零件　iron and steel parts

用钢或铸铁为材料制成的零件。材料中以铁为主要元素，并含有其他元素，其中钢的含碳量一般在2%以下，铸铁含碳量≥2%。

3.2　硬度　hardness

固体坚硬的程度，即矿物或材料抵抗其他物体刻划或压入其表面的能力。就金属硬度测试而言，硬度的实质是材料抵抗另一较硬材料压入的能力。

4　待测试件及测试部位的选取及要求

4.1　热处理后有硬度值要求的钢铁零件可全部为待测试件，亦可按规定抽样选取一定数量的零件为待测试件。有时亦可采用与零件材料和状态相同的随炉试样来代替待测试件。

4.2　批量零件抽样测试硬度时，抽样率与取样方式应保证被选钢铁零件具有代表性。

4.3　对于稳定生产的大批量钢铁零件一般可按GB/T 2828.1规定进行抽样检验。

4.4　当随炉试样硬度的测试结果不合格时，允许对钢铁零件本体硬度进行复试，并以其结果为判定值。

4.5　随炉试样一般不能用于仲裁硬度测试。

4.6　为确保测试结果准确，待测试件外观不应存在影响测试结果的污物。

4.7　待测试件应有足够质量和刚度及所选用的硬度测试方法所要求的厚度，保证测试过程中不产生振动和发生位移，以确保硬度测试结果的准确。

4.8　对于表面硬化层有要求的待测试件，应保证测试结果能正确表征表面硬化层的硬度。

5　硬度测试

5.1　测试面的品质要求

5.1.1　制备测试面过程中，应避免过热或冷作硬化等因素对表面硬度值的影响。

5.1.2　待测试面不应有氧化、脱碳及影响测试结果的污物。

5.1.3　待测试面的粗糙度应符合相应硬度测试方法的规定。

5.1.4　待测试面尽可能选择平面，非平面测试面亦应能符合不同硬度测试方法的相关要求。

5.2　试验方法的选择

5.2.1　应按钢铁零件技术要求的不同硬度值选用相应的金属硬度测试方法。目前通用的测试方法有 GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、GB/T 17394、GB/T 18449.1 等。

5.2.2　冶金和其他设备用辊类件的硬度应按 GB/T 13313《轧辊肖氏硬度试验方法》进行测试。

5.2.3　生产现场钢铁零件热处理后的硬度可选用里氏硬度计、超声硬度计、锤击式布氏硬度计和携带式布氏硬度计等进行测试。

5.2.4　非平面硬度测试，应根据不同情况选用不同的硬度计或测试装置。

5.2.5　经不同工艺热处理后的钢铁零件表面硬度测试方法及选用原则见表 1，其心部或基体硬度的测试一般按 GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1 或 GB/T 17394 进行。

5.2.6　若确定的硬度测试方法有几种试验力可供选择时，应选用测试条件所允许的最大试验力。

表 1　经不同工艺热处理后的钢铁零件表面硬度测试方法及选用原则

热处理件通常类别	表面硬度测试方法标准	选用原则
正火件与退火件	GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 17394	一般按 GB/T 231.1 测试，或用 GB/T 17394 D 型装置测试
淬火件和调质件	GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、GB/T 13313、GB/T 17394	一般按 GB/T 230.1（C 标尺）测试；辊类件按 GB/T 13313 测试；调质件按 GB/T 231.1 测试；小件、薄件按 GB/T 230.1（A 标尺或 15N 标尺）或 GB/T 4340.1 测试
表面淬火件	GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、GB/T 13313、GB/T 17394	一般按 GB/T 230.1（C 标尺）测试。硬化层较浅时，可选用 GB/T 4340.1 或 GB/T 230.1（15N 或 30N 标尺）测试。生产现场测试可用 GB/T 17394 中 D 型冲击装置
渗碳件与碳氮共渗件	GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、GB/T 17394	一般按 GB/T 230.1 测试（有效硬化层深度大于 0.6mm 时可用 A 标尺或 C 标尺） 硬化层深度较浅（<0.4mm）时，可选用 GB/T 4340.1 或 GB/T 230.1（15N 或 30N 标尺）
渗氮件	GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 4341、GB/T 18449.1、GB/T 17394	一般按 GB/T 4340.1 测试（试验力一般选 98.07N，如果渗氮层深度≤0.2mm 时，试验力一般不超过 49.03N） 渗氮层深度>0.3mm 时，亦可选用 GB/T 230.1（15N 标尺）测试，化合物层硬度按 GB/T 4340.1（试验力一般<1.961N）
氮碳共渗件	GB/T 230.1、GB/T 4340.1、GB/T 18449.1、GB/T 17394	一般按 GB/T 4340.1 测试（试验力一般为 0.4903N～0.9807N）；渗层深度≥0.2mm 时可选用 GB/T 17394C 型装置
其他渗非金属件渗金属件	GB/T 18449.1、GB/T 4340.1、GB/T 17394	

5.3　测试部位与测试点数

5.3.1　测试部位

5.3.1.1　测试部位应具有代表性或按照图样规定进行。钢铁零件的其他部位若能反映工作部位的硬度时也可作为测试部位。

5.3.1.2　测试部位应具备测试条件，能够用规定的硬度计方便、快捷、准确地进行硬度测试。

5.3.1.3　测试部位磨去层深度不应超过工艺要求所规定的机械加工余量。

5.3.1.4　选择的测试部位应保证硬度压痕不影响钢铁零件的最终质量。

5.3.1.5　下列部位一般不应作为钢铁零件表面或基体硬度的测试部位；

a）局部淬火件的淬火区与非淬火区的交界处；

b）局部化学热处理件的渗层与非渗层交界处；

c）对允许存在的软点或软带的边缘处。

5.3.2　测试点数

5.3.2.1　对每一待测试件，应按图样或供货合同要求确定测试点数，每个测试点对应一个硬度测量值。

5.3.2.2　每一待测试件在正式测试前，一般应先测一个点，以确认工作条件是否正常，该点不记入测试点数。

5.3.2.3　小尺寸批量零件的测试点数可适当减少，但应适当增加零件数量。

5.3.2.4　可适当减少大批量同类待测试件的测试点数。

5.3.2.5　如发现某一测试点的测试结果异常时，允许在该测试点附近补测两次，但原异常测试结果应与补测数值同时记录。

6　测试结果与硬度值表示

6.1　测试结果可能是单一的硬度值，也可能是一个硬度范围，但每一个硬度值均应按不同硬度测试方法的规定来确定。如连续五次有效读数为一个肖氏硬度测量值，即为一个硬度值。

6.2　在圆柱或球面上测得的硬度值，应按 GB/T 230.1 和 GB/T 4340.1 的规定进行修正。几种里氏冲击装置在不同测试方向测得的里氏硬度值，应按 GB/T 17394—1998 附录 A 中表 A1 的规定进行修正。

6.3　硬度值应按 GB/T 8170《数值修约规则》执行修约。

6.4　记录硬度平均值时，一般应在硬度平均值后面加括号注明计算硬度平均值所用的各测试点硬度值［如 64.0HRC（63.5HRC、64.0HRC、64.5HRC）］。

6.5　硬度值的表示应符合相应国家标准硬度测试方法的规定（见附录 A）。

6.6　应尽可能避免将一种硬度值换算成其他硬度值或抗拉强度值。必须换算时，推荐按 GB/T 1172 进行换算。对 GB/T 1172 未包括的换算，应在通过对比测试得到可靠换算依据的条件下进行。

6.7　报出换算硬度值时，应在换算值后面加括号注明硬度实测值［如 48.5HRC（75.0HRA）］。对于用里氏硬度换算的其他硬度，应在里氏硬度符号之前附以相应的硬度符号。例如 400HVHLD 表示用 D 型冲击装置测定的里氏硬度换算的维氏硬度值为 400。

6.8　对下列情况，不允许进行硬度值之间的换算：

a）换算后的硬度值不能近似符合实测条件下的测量值：

b）对测试结果的准确性要求高的硬度值；

c）可以用规定的硬度测试方法测试硬度。

7　仲裁试验

7.1　对硬度测试值产生异议或供需双方的硬度测试结果不一致时，可进行仲裁试验。

7.2 仲裁试验可在共同认可的条件下，双方共同测试。亦可由权威部门用规定的测试方法进行测试，依据测试结果重新判定。

8 硬度计与测试人员

8.1 硬度计

8.1.1 各种硬度计及标准试块均应符合相应的国家标准或行业标准，并处于检定有效期内，持有效期内的检定证书。

8.1.2 硬度计与标准试块不允许在无检定合格证书或超过检定周期的情况下使用。

8.1.3 为了保证硬度计的性能和准确度，应按有关维修制度进行维修，并保存其相关记录。

8.1.4 每一次测试前，要用标准试块对硬度计进行校准，校准合格后方可用于测试，否则，需进行调整或维修。

8.2 测试人员

8.2.1 专职测试人员必须经正规培训与考核，具有正式的资格证书。

8.2.2 涉及硬度自检与互检的热处理工人，应经过培训，并能进行熟练操作。

9 测试报告

一般应包括下列内容：

a）钢铁零件名称、图号或件号、材料牌号、数量及热处理状态；

b）测试件的有关情况说明；

c）硬度测试方法标准，必要时应说明测试部位与测试点数；

d）硬度测试结果：

e）测试日期及测试者签名或盖章；

f）审核者签名或盖章及公章。

附 录 A
（规范性附录）
硬度符号与表示

硬度符号与表示及举例说明如表 A.1 所示。

表 A.1 硬度符号与表示及举例说明

硬度符号与表示	示 例 说 明
350HBW5/750	表示用直径 5mm 的硬质合金球在 7.355kN 试验力下保持 10s～15s 测定的布氏硬度值为 350
600HBW1/30/20（GB/T 231.1）	表示用直径 10mm 的硬质合金球在 29.42kN 试验力下保持 10s～15s 测定的布氏硬度值为 600
90HRB	表示用直径 1.5875mm 钢球在 980.7N 总试验力下以 B 标尺测定的洛氏硬度值为 90
62HRC	表示用金刚石圆锥（120°）压头在 1471N 总试验力下以 C 标尺测定的洛氏硬度值为 62
70HRN30（GB/T 230.1）	表示用金刚石圆锥（120°）压头在 294.2N 总试验力下以 N 标尺测定的洛氏硬度值为 70
620HV30 660HV0.5/20 860HV0.02/30（GB/T 4340.1）	表示在试验力为 294.2N 下保持 10s～15s 时测定的维氏硬度值为 620 表示在试验力为 4.903N 下保持 20s 时测定的小负荷维氏硬度值为 660 表示在试验力为 0.1961N 下保持 30s 时测定的显微维氏硬度值为 860

（续）

硬度符号与表示	示 例 说 明
45HSC 50HSD 55HSE（GB/T 4341）（GB/T 13313）	表示用 C 型硬度计测定的肖氏硬度值为 45 表示用 D 型硬度计测定的肖氏硬度值为 50 表示用 E 型硬度计测定的肖氏硬度值为 55
700HLD 600HLDC	表示用 D 型冲击装置测定的里氏硬度值为 700 表示用 DC 型冲击装置测定的里氏硬度值为 600
550HLG（GB/T 17394）	表示用 G 型冲击装置测定的里氏硬度值为 550
640HK0. 1 640HK1/20（GB/T 18449. 1）	表示在试验力为 0. 9807N 下保持 10s ~ 15s 测定的努氏硬度值为 640 表示在试验力为 9. 807N 下保持 20s 测定的努氏硬度值为 640

附　录　B

（资料性附录）

硬度符号、标准及硬度测试原理

硬度符号、标准及硬度测试原理如表 B. 1 所示。

表 B. 1　硬度符号、标准及测试原理

硬度符号、标准级别号	硬度测试原理
布氏硬度 HBW （GB/T 231. 1）	对一定直径的硬质合金球施加试验力使其压入试样表面，经规定保持时间后，卸除试验力，测量试样表面压痕的直径 $$布氏硬度 = 常数 \times \frac{试验力}{压痕表面积}$$ $$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$ 式中　D——球直径（mm） F——试验力（N） d——压痕平均直径（mm）
洛氏硬度 HR （GB/T 230. 1）	将压头（金刚石圆锥体、钢球或硬质合金球）按规定分两个步骤压入试样表面，经规定保持时间后，卸除主试验力，测量在初始试验力下压痕残留的深度 $$洛氏硬度 = N - \frac{h}{s}$$ 式中　N——给定标尺的硬度数 h——压痕残留的深度（mm） s——给定标尺的单位（mm）
维氏硬度 HV （GB/T 4340. 1）	将顶部两相对面具有规定角度的正四棱锥金刚石压头用试验力压入试样表面，保持规定的时间后，卸除试验力，测量试样表面压痕对角线长度 $$维氏硬度 = 0.102 \times \frac{2F\sin\frac{136^\circ}{2}}{d^2} \approx 0.1891 \times \frac{F}{d^2}$$ 式中　F——试验力（N） d——两压痕对角线长度 d_1 和 d_2 的算术平均值（mm）

（续）

硬度符号、标准级别号	硬度测试原理
肖氏硬度 HS （GB/T 4341）	将规定形状的金刚石冲头从固定的高度 h_0 落在试样表面上，冲头弹起一定高度 h，用 h 与 h_0 的比值计算肖氏硬度值 $$HS = K\frac{h}{h_0}$$ 式中 HS——肖氏硬度 K——肖氏硬度系数 h、h_0——固定高度、弹起高度（mm）
里氏硬度 HL （GB/T 17394）	用规定质量的冲击体在弹力作用下以一定速度冲击试样表面，用冲头在距离试样表面 1mm 处的回弹速度与冲击速度的比值计算里氏硬度值。计算公式如下 $$HL = 1000 \times \frac{v_R}{v_A}$$ 式中 HL——里氏硬度 v_R——冲击体回弹速度 v_A——冲击体冲击速度
努氏硬度 HK （GB/T 18449.1）	将顶部两相对面具有规定角度的菱形棱锥体金刚石压头用试验力压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，测量试样表面压痕长对角线的长度。计算公式如下 $$努氏硬度 = 常数 \times \frac{试验力}{压痕投影面积} = 0.102 \times \frac{F}{d^2C}$$ $$= 0.102 \times \frac{F}{0.07028d^2} = 1.451 \times \frac{F}{d^2}$$ 式中 F——试验力（N） d——压痕对角线长度（mm） C——压头常数

附　录　C

（资料性附录）

硬度测试方法的适用范围

各种硬度测试方法的适用范围（仅限于钢铁零件）如表 C.1 所示。

表 C.1　各种硬度测试方法的适用范围

硬度测试方法	适 用 范 围
布氏硬度 （GB/T 231.1）	统一规定用不同直径的硬质合金球为测试用球，不再使用钢球为测试用球。布氏硬度测试上限值可达 650HBW，扩大了布氏硬度的适用范围 一般情况下适用于测试退火件、正火件及调质件的硬度值，特殊条件下亦可测试钢铁零件其他热处理后的硬度值 对于铸铁件，硬质合金球直径一般为 2.5mm、5mm 和 10mm（现场测试可用携带式或锤击式硬度计对成品件不宜采用布氏硬度测试方法）

（续）

硬度测试方法	适用范围
洛氏硬度 （GB/T 230.1）	批量件、成品件及半成品件的硬度测试，有 A、B、C、D……N 等多种标尺： A 标尺适用于测试高硬度淬火件、较小与较薄件的硬度，以及具有中等厚度硬化层零件的表面硬度 B 标尺适用于测试硬度较低的退火件、正火件及调质件 C 标尺适用于测试经淬火回火等热处理后零件的硬度，以及具有较厚硬化层零件的表面硬度 …… N 标尺适用于测试薄件、小件的硬度以及具有浅或中等厚度硬化层零件的表面硬度 对晶粒粗大且组织不均的零件不宜采用
维氏硬度 （GB/T 4340.1）	修订后的 GB/T 4340.1 包括三种维氏硬度测试方法 维氏硬度测试试验力范围为 49.03～980.7N，主要适用于测试小件、薄件的硬度以及具有浅或中等厚度硬化层零件的表面硬度，现场测试可用超声硬度计 小负荷维氏硬度测试力范围为 1.961～29.42N，适用于测量小件、薄件的硬度以及具有浅硬化层零件的表面硬度 显微维氏硬度测试力范围为 0.09807～0.9807N，适用于测量微小件、极薄件和显微组织的硬度，以及具有极薄或极硬硬化层零件的表面硬度
肖氏硬度 （GB/T 4341） （GB/T 13313）	肖氏硬度测试范围为 5～105HS，主要适用于较高硬度和高硬度大件的表面硬度现场测试，也是各种辊类件专用的硬度测试方法
里氏硬度 （GB/T 17394）	金属里氏硬度测试方法适用于大型金属产品及部件里氏硬度的测定 该试验方法具有多种测试冲击装置，也适用于钢铁零件热处理后现场的硬度测试
努氏硬度 （GB/T 18449.1）	试验力一般不超过 9.807N，主要适用于测量微小件、极薄件和显微组织的硬度，以及具有极薄或极硬硬化层零件的表面硬度

附 录 D
（资料性附录）
硬度测试方法制定、修订及采用国际标准简况

现行硬度测试方法制定、修订及采用国际标准简况如表 D.1 所示。

表 D.1 硬度测试方法制定、修订及采用国际标准简况

现行国家标准	制定、修订及采用国际标准简况
GB/T 231.1—2002 金属布氏硬度测试 第 1 部分 测试方法 （ISO 6506-1：1999，MOD）	该标准是对 GB/T 231—1984《金属布氏硬度试验方法》的修订。其修改（等效）采用国际标准 ISO 6506-1：1999《金属材料布氏硬度试验第 1 部分：试验方法》。该标准除了对试样表面质量要求比国际标准规定明确外，技术内容与 ISO 6501-1 完全相同
GB/T 230.1—2004 金属洛氏硬度试验 第 1 部分 （ISO 6508-1：1999，MOD）	该标准是对 GB/T 230—1991《金属洛氏硬度试验方法》和 GB/T 1814—1994《金属表面洛氏硬度试验方法》合并后的修订。其修改（等效）采用国际标准 ISO 6508-1：1999《金属材料洛氏硬度试验》第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）。减少了标准数量，避免了重复 它与 ISO 6508-1 一致，修改了施加试验力和保持试验力的时间等内容

（续）

现行国家标准	制定、修订及采用国际标准简况
GB/T 4340. 1—1999 金属维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法 （ISO 6507-1：1997，MOD）	该标准是在合并以下三个标准的基础上修订的：GB/T 4340—1984《金属维氏硬度试验方法》、GB/T 5030—1985《金属小负荷维氏硬度试验方法》、GB/T 4342—1991《金属显微维氏硬度试验方法》 该标准修改（等效）采用了国际标准 ISO 6507-1：1997《金属材料维氏硬度试验第 1 部分：试验方法》。新标准中对试验力施加和保持时间作了修改，对压痕间距规定的修改也与 ISO 6507-1 完全相同
GB/T 4341—2001 金属肖氏硬度试验方法 （JISZ 2246—1992，MOD）	该标准是在 GB/T 4341—1984《金属肖氏硬度试验方法》的基础上修订的，其修改（等效）采用日本工业标准 JIS Z 2246《金属肖氏硬度试验法》。该标准的各项技术内容均与 JIS Z 2246 相同，其中仅在对试样规定方面有两点较 JIS Z 2246 详细
GB/T 13313—1991 轧辊肖氏硬度试验方法	GB/T 13313 是轧辊肖氏硬度专用试验方法
GB/T 17394—1998 金属里氏硬度试验方法	由于前些年在瑞士出现的里氏硬度测试，在我国已得到广泛的应用，为满足我国冶金产品生产厂及使用部门中硬度测试的需要制定了 GB/T 17394—1998《金属里氏硬度试验方法》。该标准参考了瑞士里氏硬度计的相关资料
GB/T 18449. 1—2001 金属努氏硬度试验 第 1 部分：试验方法 （ISO 4545：1993，NEQ）	该标准非等效采用国际标准 ISO 4545：1993《金属材料努氏硬度试验》，与 ISO 4545 区别如下：增加了前言：为了保持与国际标准中引用的标准内容完全一致，该标准在对努氏硬度计的要求中引用的 GB/T 18449. 2《金属努氏硬度试验　第 2 部分：硬度计的检验》与 ISO 4546《金属努氏硬度试验硬度计的检验》等同；增加了附录 A《在平面上试验用努氏硬度值表》它与 ISO 10250《在平面上实验用努氏硬度值表》完全相同

第六节　测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头试验方法

一、概论

淬火冷却介质是热处理生产中重要的工艺材料，制定淬火冷却介质冷却性能的试验方法对于生产、选择和正确使用淬火冷却介质具有重要的指导作用。淬火冷却介质主要是根据工件的材料、大小、形状的复杂程度及对工件要求的力学性能等诸多因素来调整冷却特性的。随着工业的发展，对机械零件的性能要求和质量稳定性要求越来越高，这就要求生产企业能够更好地控制热处理过程中的各个环节。而其中淬火冷却介质冷却性能的测定和有效控制则是保证淬火工艺目标的关键环节，这就要求必须要有一个实用的、有效的冷却性能测定方法。

迄今为止，应用最早、最广泛的淬火冷却介质冷却性能测定方法是冷却曲线法。该方法已经从实验室走出进入生产现场，成为一种工艺控制的重要工具，其在工艺控制方面正起着越来越重要的作用，成为世界各国公认的主导方法。国际材料热处理和表面工程联合会（IFHT）冷却科学和技术委员会认为：为了不同实验室所得检测结果能进行对比，必须制定国际标准，以便各国采用相同的检测方法。该委员会评价了已有的各种检测方法，并于 1985 年提出了标准草案 ISO/DIS 9950《工业淬火油—冷却特性的测定—实验室试验方法》。这个标准草案是以设在英国伯明翰阿斯通大学的华福森热处理中心（Walfson Heat Treatment Centre）的工程部淬火冷却介质专题组于 1982 年发

表的《工业淬火冷却介质冷却性能评定的实验室试验方法》（Laboratory Test for Assessing the Cooling Characteristics of Industrial Quenching Media）为基础而制定的，两者的主要内容完全相同。标准草案采用华福森的圆柱形镍合金探头。经10年的试验和修订，1995年提出了正式的国际标准ISO 9950：1995《工业淬火油—冷却特性的测定—镍合金探头试验方法》。

现行的淬火油方面的国际标准有ISO 9950：1995，日本工业标准JIS K2242：1997《热处理油》。我国关于热处理油产品标准有HB 5415—1988《热处理淬火用油》、SH 0564—1993《热处理油》JB/T 6955—2008《热处理常用淬火介质技术要求》；方法标准有SH/T 0219—1992（2004）《热处理油热氧化安定性测定方法》、SH/T 0220—1992（2004）《热处理油冷却性能测定法》、JB/T 7951—2004《测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头实验方法》（等同采用ISO 9950：1995）。上述国内标准均是正式颁布的行业标准：约束力相等，但在执行过程中存在一个值得关注的问题，即不同行业或相同行业不同企业采用不同的标准，而这些标准又采用不同的试验方法，使其中的很多技术指标无法直接互换。就产品标准而言，机械行业的许多企业执行JB/T 6955—2008和JB/T 7951—2004，航天部所属企业执行HB 5415—1988，而多数淬火冷却介质研究院（所）和淬火油生产厂则执行SH 0564—1993。另有一些热处理企业和淬火冷却介质生产厂采用瑞士产IVF（或类似的国产）便携式冷速仪，用ISO 9950规定Inconel 600探头测定淬火油或合成淬火剂的冷却性能。问题在于，由于不同行业或企业执行不同的标准，已在淬火冷却介质的研究、生产、验收、使用诸环节上造成很多麻烦。在淬火冷却介质生产和销售实践中，常常出现这样的尴尬局面：同一种产品，需要分别引入两个甚至两个以上标准中的不同技术指标来弥补各自的不足。例如，某厂在购进一种淬火油时，要求的冷却性能指标就必须通过两个方法标准来验证。因此，应将ISO 9950：1995国际标准等同转化为我国国家标准，以期更好地使各行业统一采用最适用且最有权威性的标准。

二、标准应用说明

1. 标准制定情况

为满足行业需求，在2004年由北京机电研究所、天津热处理研究所和中国一汽集团技术中心等共同制定了JB/T 7951—2004《测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头试验方法》。此标准等同采用了ISO 9950：1995国际标准。由于此标准与国际标准一致，广泛被国内同行所认可，现已有多家单位开发出相关测试仪器，解决了淬火油产品的质量控制和检验问题。为了更好地推广此标准，在全国热处理标准化技术委员会的推动下，将ISO 9950：1995转化为国家标准，标准编号为GB/T 30823—2014/ISO 9950：1995。

本标准使用翻译法等同采用ISO 9950：1995《测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头试验方法》。

本标准中虽然保留了原国际标准中一些模拟电路的内容，由于已经不适应现在的需要，所以用户在使用本标准时，可以不必深究模拟电路的部分内容。

由于ISO 9950：1995至今现行未做修订，本标准的规范性引用文件仍沿用原国际标准的文件。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

1）GB/T 261—2008《闪点的测定　宾斯基-马丁闭口杯法（ISO 2719：2002，MOD）》。

2）GB/T 265—1988《石油产品运动黏度测定法和动力黏度计算法（ISO 2909：1981，MOD）》。

3）GB/T 1884—2000《原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）（eqv ISO 3675：1998）》。

2. 主要内容

本标准规定了使用镍合金探头测定工业淬火油冷却性能的实验室方法。测试在静态油中进行，

这样就可以在标准条件下对不同油品的冷却性能进行比较。这种测试结果与存在不同程度搅拌作用的工业淬火设备淬火速度之间的相关性还没有建立。主要原理：一个几何中心装有热电偶的圆柱形镍合金试样（简称“探头”）在炉中加热到设定温度，然后放入一定体积的待测淬火油中，用以记录探头心部温度变化与时间的函数关系。冷却速度也可以同时记录或以后确定，从记录中得到的测量值可用于评价待测淬火油。

测试在静态油中进行，这样就可以在标准条件下对不同油品的冷却性能进行比较。本标准的开始试验温度为850℃，试验是在2L静止的油样中进行的，试验结果除绘制成冷却过程曲线外，也绘制成冷却特性曲线，同时提出下列6个特征参数：①最大冷速；②最大冷速所在的温度；③300℃时的冷速：④冷至600℃时的冷却时间；⑤冷至400℃时的冷却时间；⑥冷至200℃时的冷却时间。

3. 主要试验情况分析

（1）标定液。根据本标准要求，可以选用润滑油基础油100SN作为本标准探头的标定液。本标准也规定了标定液的保存方法和使用期限，以及该标定液应具备的物理特性和冷却特性。

（2）试验装置

1）探头。本标准对测试用探头的制造材料、方法、结构、尺寸等进行了规定说明，如标准中图1所示。

ISO 9950：1995中探头的材料选用镍合金而不是银，主要理由是前者的热物理性能非常接近钢，而后者与钢则相差太大。金属的热导率、密度和比热容是影响热传导的三个主要物理参数。表4.6-1列出了铁、镍、银的上述参数。从传热学的角度来看，铁同镍很接近，而同银相差较大。由此可知，镍合金探头比银探头更接近于一般钢材，其冷却过程应更能模拟钢件的淬火过程。

表4.6-1 铁、镍、银的热导率、密度和比热容

参　　数	Fe	Ni	Ag
热导率/[J/(cm·s·℃)]	0.431	0.536	4.186
密度/(g/cm^3)	7.80	8.90	10.49
比热容/[J/(g·℃)]	0.691	0.532	0.234

其次，镍合金探头的重复性和灵敏度是经过国际众多实验室的循环试验所证实的，可以完全满足淬火冷却介质研发和生产监控的需要。镍合金探头经过稳定化处理后，其表面生成一层牢固致密的氧化膜，保证了在使用中表面状态的稳定一致性，而银探头要保持表面一致性就比较困难。

另外，本标准对探头的装配方式也进行了规定，如标准中图1a所示。要求热电偶紧密装入探头本体中，并且为保证热电偶顶端正确装入加工孔底部，在装配其他部件之前，热电偶先装入。外层热电偶支撑管采用TIG焊法（钨极惰性气体保护焊）与探头本体焊接。TIG焊法也用于随后设计中连接支撑管的零件。为了延长探头寿命，推荐热电偶接在所示的插拔型连接插头上。很重要的一点是，热电偶应具有足够的长度以补充热膨胀。原国际标准引用了英国BS系列的热电偶和镍铬-镍铝K型热电偶标准，由于K型热电偶是国际通用的热电偶，我国企业在实际的应用过程中可以直接选用符合我国标准的K型热电偶。

为了得到稳定的结果，新探头在最初使用前，使用任意淬火油应进行至少6次的模拟淬火。通常，探头直接从850℃进入矿物油中，且在两次淬火之间探头应从油中移出并使它冷却到50℃以下。使用一种适当的氯化溶剂清洁探头表面，然后用干燥不起毛的布擦干。

关于探头的修正，当最大冷速值偏离初始化后得到稳定值的±5%时，应对探头进行修正工作。使用600号砂纸清理掉探头表面的疏松层，然后多次（至少6次）直接从850℃淬入油中模仿淬

火，直到在探头表面形成连续的氧化膜，并且得到在初始化值范围之内可重复的结果。

如果制造的探头符合本标准规定的数据，即可判定该探头符合本标准，可以使用；否则，不能作为本标准探头销售和使用。

最近几年，我国已经有几家公司在生产符合本标准的测试仪器。但是，对于探头的标定，还是没有进行相关联合测试和评定，是否符合标准，没有权威鉴定。本标准升级为国家标准后，可由全国热处理标准化技术委员会与全国热处理学会淬火技术委员会合作，组织我国同行进行相关工作，以推动本标准的应用。

我们认为该标准应用中主要问题是解决探头的制造和校准难题，这是以后一段时间我国热处理淬火冷却技术发展的重点问题。希望热处理同行参与，也希望中国热处理学会淬火技术委员会给予支持，促进本标准的应用。

2）加热设备

①加热炉。对于探头所用的加热炉应是试验用管式炉，且可以水平或垂直安装。加热炉应能够在不小于 120mm 的加热区内保持恒温。探头应放置在有效加热区中心，在超过 60mm 长度范围内，探头的温度变化不超过 ±2.5℃。

②温度控制器。加热炉中使用的温度控制器应能够在保温期间保持炉子的加热区在 850℃ ±5℃的范围内。

③样品加热器。淬火油样品应装在清洁和干燥的高筒容器内，其直径为 115mm ±5mm，且由不易碎的材料制成，推荐采用内电阻加热器。

3）传动结构。被加热的探头从炉内移到盛放淬火油样品的容器中的时间应不超过 2s，最好采用自动机构。探头应放置在淬火油样容积的几何中心，并且应使用机械支撑以防止探头振动和搅动。电子触发事件记录仪应放入系统中，以显示时间温度曲线中探头接触油的瞬间时刻。

4）测量系统。测量系统应能够提供每个待测淬火油样的冷却特性的永久记录，这种记录描述了探头温度与冷却时间的关系。可以采用计算机技术或具备电子微分器的标准记录技术得到这种记录，测量系统总的精度不应低于已考虑热电偶校准影响的记录值的 ±2.5%。推荐采用计算机测量系统采集探头温度与冷却时间的过程曲线，计算机采样频率应不少于 20 次/s。

在测试期间或在测试后，使用绘图机绘制探头温度与时间曲线，通过计算机软件的数值微分计算出来，绘制出探头冷却速度与温度的函数关系。

电子微分器的方法已经不适应当前技术发展，尽量避免采用。

这里，要强调指出的是标准中“标定淬火液”中的数据，应该是检验探头和测试仪器可靠性、可信性的唯一标准。符合“标定淬火液”中标准数据的仪器，才应该是符合本标准的测试仪器，否则，不应在市场作为本标准的测试仪器销售。

（3）采样。本标准中对淬火油样品的采集进行了规定，需要用 2L 淬火油样品，并且所采集的油样需认真操作以保证其具有代表性。为避免污染，盛油样的容器应是清洁和干燥的。

（4）测试过程

1）测试温度

①探头温度。在空气中，探头被加热到 850℃ ±5℃，且测试开始前，探头应在此温度保持 5min。每次试验时，依据 Y-t 记录仪的温度轴（需满足灵敏度≥0.2mV/mm；线性度≥0.1%；精确度≥0.5%；记录速度最小 200mm/s；曲线速度精度 1%）再考虑冷端补偿和探头热电偶校准显示的误差进行适当的修正（见 7.3.1 条），以确定探头温度值。试验前，冷端及探头热电偶校准值应记录在表格上。

②样品的温度。淬火油样品应在指定产品使用的温度范围内测试。淬火油的温度可以选择以满

足个别要求。为便于比较，除非特别强调，推荐测试在油温40℃的条件下进行。测试开始时，淬火油温度应在设定测试温度的±2℃之内。为了减少热梯度，淬火油样在加热期间应适当搅拌，且测试开始前检查油样温度。测试应在静止的油样中进行。

2）校准。探头热电偶校准通过捆绑一个以前校正过的热电偶在探头的外表面，加热探头到测试温度，来校准探头热电偶，当探头温度达到平衡时，使用电位差计比较两个热电偶的输出。在测定温度850℃±5℃范围内，如果探头热电偶的输出误差超过给定值的±2%，则探头就要报废。7. 3. 1. 3条中说明了较小误差的校正方法。

对于新使用探头，标准规定按7. 3. 1. 1条要求进行探头的校准；对于已经使用过的探头，在总共不超过25次测试开始之前，要进行校准：对于定期使用的探头，在每25次测试之后，进行校准。

测试开始前，记录校准时确定的误差，在计算探头温度值和确定测试结果数据时，予以考虑。

3）测试

①测试时为了得到可重现的结果，同一油样测试应重复两次。将待测淬火油样放入5. 1条规定的容器中，将油样调整到所要求的测试温度。加热期间，为减少热梯度，应搅拌淬火油样。

②将已经初始化的、清洁的和校准的探头放入加热炉中，加热到设定温度。

③在淬火前断开加热炉电源（为了避免可能对控制系统的干扰），放下记录笔，移动探头从炉中到淬火油样中，确保事件触发器记录探头与油样接触的瞬间。

④当探头温度降到200℃，或指定测试所要求的低温值时，关上记录仪和微分器，将探头从油中移出，完成指定的清洗过程。

（5）结果表示。按以上程序进行测试后绘制冷却曲线，温度-时间和温度-冷却速度的函数关系曲线，见标准中图3。

根据绘制的温度-时间的函数关系，用冷端及热电偶校准因子修正，读出探头从浸入温度降到600℃（精确到0. 5s）、400℃（精确到0. 5s）、200℃（精确到1s）所用的时间。

根据绘制的冷却速度-温度的函数关系，采用冷端和热电偶校准因子修正，可读出冷却速度数据：最大冷却速度（精确到0. 5℃/s）、发生最大冷却速度时所在温度（精确到0. 5℃）、在300℃时的冷却速度（精确到0. 5℃/s）。

4. 解决的问题和应用效果

如何解决水基介质冷却性能的测定是以后需解决的问题。美国同行根据ISO 9950制定了评定水基介质冷却性能的实验标准ASTM D6482-99，为我们制定水基介质的测试标准提供了很好的参考。此标准中未将ASTM D6482-99的内容包括进去，主要考虑淬火油冷却性能测试标准和水基淬火剂冷却性能测试标准应该是两个标准，国外也是这样处理的，我们正是遵循了一个标准解决一类问题的原则，力求所制定标准准确、简单、实用。待本标准颁布后，根据标准的应用情况和国内淬火冷却介质技术发展的要求，将制定“水基淬火剂冷却性能实验方法”测试标准作为下一步的工作目标。

符合ISO 9950和本标准的淬火冷却介质冷却性能测定仪，既具有良好的灵敏度，又具有很好的重复性及再现性。因此，可以作为淬火冷却介质选型对比及淬火冷却介质现场验收之工具。它可以直接测定冷却槽液不同部位、不同温度或者不同搅动强度下的冷却特性，据以调整冷却工艺参数。近10多年来，我国很多淬火冷却介质生产单位、国外在中国的几大淬火冷却介质生产销售公司及数百家热处理企业都一直在采用符合ISO 9950标准的检测仪，为本标准的使用积累了大量的经验和数据。同时，随着国外制造业向中国的转移以及航空航天、汽车制造业在中国的飞速发展，

我国热处理行业同各先进工业国家一样，日益重视热处理冷却系统的全面监控，以保证其产品的质量和可靠性。在当前高新技术迅速发展的时代，只要各方面协同努力，吸取先进技术，发挥各自特长，就会使我国热处理冷却介质的测控技术较快地进入国际先进行列。（北京机电研究所李俏、王耀供稿）

三、标准内容（GB/T 30823—2014/ISO 9950：1995）

测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头试验方法

1　范围

本标准规定了使用镍合金探头测定工业淬火油冷却性能的试验室方法。测试在静态油中进行，可以在标准条件下对不同油品的冷却性能进行比较。测试结果与存在不同程度搅拌作用的工业淬火设备淬火速度之间的相关性还没有建立。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ISO 2719：1988　石油产品和润滑剂使用 Pensky-martens 闭口杯测定闪点方法（Petroleumproducts and lubricants—Determination of flash point-Pensky-Martens closed cup method）

ISO 2909：1981　石油产品根据运动黏度计算黏度指数的方法（Petroleum products—Calculation of viscosity index from kinematic viscosity）

ISO 3104：1994　石油产品-透明和不透明液体　测定运动黏度和计算动力黏度的方法（Petroleum products—Transparent and opaque liquids—Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity）

ISO 3405：1988　石油产品馏程特性的测定方法（Petroleum products—Determination of distillation characteristics）

ISO 3675：1993　原油和液体石油产品　密度或相对密度的实验室测定　液体比重计方法（Crudepetroleum and liquid petroleum products—Laboratory determination of density or relative density—Hydrometer method）

BS 1041，Part 4：1966　热电偶（Thermocouples）

BS 4937，Part 4：1973　镍铬-镍铝合金 K 型热电偶（Nickelchromium/nickel-aluminium thermocouples，Type K）

3　原理

一个几何中心装有热电偶的圆柱形镍合金试样（简称探头）在炉中加热到设定温度，然后放入一定体积的待测淬火油中。记录探头心部温度变化与时间的函数关系。

冷却速率也可以同时记录或以后确定。从记录中得到的测量值可用于评价待测淬火油。

4　标定淬火液

4.1　概述

推荐一种标定液用于探头（参见 5.2）初期、定期的标定。当标定液不使用时，应保存在密闭的容器中。经 200 次淬火或保存期超过 2 年（以两者之中先到为准），标定液应更换。

4.2　物理特性

标定淬火液应是一种未混合的、直接蒸馏的、没有任何添加剂的高黏度指数石蜡基矿物油。其物理特性见表 1。

表 1 标定淬火液的物理特性

物理特性	ISO 测试方法	最小值	最大值
40℃运动黏度/cSt①	ISO 3104：1994	19.0	23.0
100℃运动黏度/cSt①	ISO 3104：1994	3.9	4.4
运动黏度指数	ISO 2909：1981	95	105
15℃的密度/（kg/L）	ISO 3675：1993	0.855	0.870
闪点（Pensky-Martens 闭口杯法）/℃	ISO 2719：1988	190	210
蒸发量为 5% 时的温度/℃	ISO 3405：1988	330	360
蒸发量为 50% 时的温度/℃	ISO 3405：1988	400	420
灰分（%）	—	2	8

① $1cSt = 10^{-6}m^2/s$。

4.3 冷却特性

当进行标准淬火测试时，标定淬火液冷却特性的平均值应在表 2 所列的范围内。

表 2 标定淬火液的冷却特性

冷却性能		最小值	最大值
最大冷却速率/（℃/s）		47.0	53.0
冷却速率最大时的温度/℃		490	530
300℃时冷却速率/（℃/s）		6.0	8.0
探头从浸入温度到下列温度所用时间/s	600℃	12.0	14.0
	400℃	19.0	21.0
	200℃	50.0	55.0

5 装置

5.1 容器

样品应装在清洁和干燥的高筒容器内，该容器直径为 115mm ±5mm，且由不易碎的材料制成。

5.2 探头

5.2.1 概述

探头是由几何中心装有热电偶的镍合金圆柱体和安装在它上面的镍合金支撑管构成，见图 1。

5.2.2 探头尺寸

探头直径为 12.5mm，长度 60mm。热电偶的热接点应在其几何中心，见图 1b。

5.2.3 探头材料

探头应由 Inconel 600㊀级镍铬铁合金或其他具有相同物理和热性能的材料制成。

5.2.4 热电偶

探头温度应由带有金属外壳的由矿物质隔离的绝缘型结点的镍铬-镍铝热电偶测量。热电偶的外径为 1.5mm，外壳材料为 Inconel 600 合金。

㊀ 标准成分（质量分数,%）：镍 + 钴不小于 72；铬 14 ~ 17；铁 6 ~ 10；碳不大于 0.15；锰不大于 1；硫不大于 0.015；硅不大于 0.5；铜不大于 0.5。

Inconel 是因康（Inco）集团公司提供产品的商品名称。给出这一信息是为了方便本标准的使用者，并不是 ISO 指定产品。如果其他等效产品具有相同效果，则可使用这些等效产品。

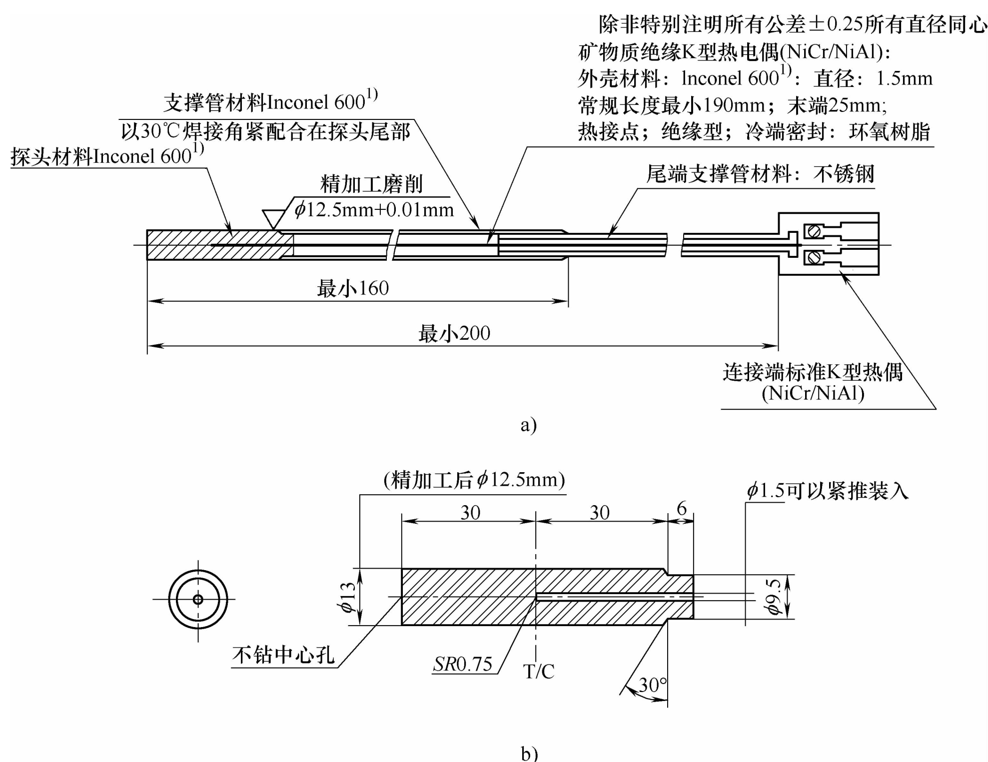


图 1　探头

a）总装配图　b）探头详图

5.2.5　热电偶支撑管

热电偶支撑管应由外径为 12.5mm 的 Inconel 600 或同等合金管制成。同时，探头加上支撑管应具有 200mm 的最小长度且典型长度是 355mm。如果有必要，可以使用加长的支撑管用于机械传动。如果有其他要求，从探头末端 160mm 处支撑管可用外径 10mm 的不锈钢材料，见图 1a。

5.2.6　装配

探头应根据图 1a 要求装配。热电偶应紧推装入探头本体中，并且为保证热电偶顶端正确装入加工孔底部，在装配其他部件之前，热电偶先装入。

外层热电偶支撑管采用 TIG 焊法（钨极惰性气体保护焊，下同）与探头本体焊接。TIG 焊法也用于随后设计中连接支撑管的零件。

为了延长探头寿命，推荐热电偶接在图 1a 所示的插拔型联接插头上。很重要的一点是热电偶应具有足够的长度用来弥补热膨胀。

5.2.7　探头表面状态

5.2.7.1　新探头的初始化

为了得到稳定的结果，新探头在初次使用前，应用任意一种淬火油进行至少 6 次或者更多次的模拟淬火。通常，将探头从炉温为 850℃的加热炉中直接移至矿物油中，且在两次淬火之间探头应按 5.2.7.2 的要求进行清洗。

5.2.7.2　清洗

每次完成淬火实验后，应将探头从油中移出并使它冷却到 50℃以下。使用一种适当的氯化物溶剂清洁探头表面，然后用干的不起毛的布擦干。

5.2.7.3 修复

当最大冷却速率偏离初始化后达到稳定值的 ±5% 时，应对探头进行修复，见 5.2.7.1。

使用 600 号砂纸清理探头表面的疏松层，然后多次（至少 6 次）直接从炉温为 850℃ 的加热炉中淬入油中模拟淬火，直到在探头表面形成连续的氧化膜，并得到在初始化后获得值范围之内可重复的结果。

5.3 加热设备

5.3.1 加热炉

加热炉应是电阻加热管型炉，且可以水平或垂直安装。加热炉应能够在不小于 120mm 的加热区内保持恒温。探头应放在加热区中心，这样在 60mm 长度范围内，探头的温度变化不超过 ±2.5℃。

5.3.2 温度控制器

使用的温度控制器应能够保持加热炉在保温期间其加热区在 850℃ ±5℃ 的范围内。

5.3.3 样品加热器

淬火油样品应能够在容器内（见 5.1）加热，推荐采用内电阻加热器。

5.4 传动结构

探头（见 5.2）从加热炉中（见 5.3.1）移到容器（见 5.1）内的时间应不超过 2s，最好采用自动机构。探头应放置在淬火油样容积的几何中心，并且应使用机械支撑以防止探头振动和摆动。电子触发记录仪应放入系统中，以显示时间-温度曲线中探头接触油的瞬间时刻。

5.5 测量系统

5.5.1 概述

测量系统应能够提供每个待测淬火油样的冷却特性的永久记录，即得到探头温度与时间及冷却速率与温度变化的记录，见 8.1。

可以使用以下两种方法中的任何一种得到这种记录：

a）计算机技术；

b）具备电子微分器的标准记录技术。

5.5.1.1 计算机技术

采集探头热电偶的输出信号，数字化后存储到计算机内存中，采样频率不少于 20 次/s。

在测试期间或在测试后，使用绘图仪绘制温度与时间的函数关系。

冷却速率可通过探头热电偶输出信号与相应时间的数值微分计算出来，绘制出冷却速率与探头温度的函数关系。

5.5.1.2 标准记录技术

温度与时间的函数关系可通过 *Y-t* 记录仪记录探头热电偶输出信号得到。

绘制冷却速率与探头温度的函数关系需要一个电子微分器，图 2 所示为微分器的典型电路图，它产生一个正比于探头热电偶输出值随时间变化的速度信号，使用 *X-Y* 记录仪，记录该速度信号与相对应探头温度的关系。

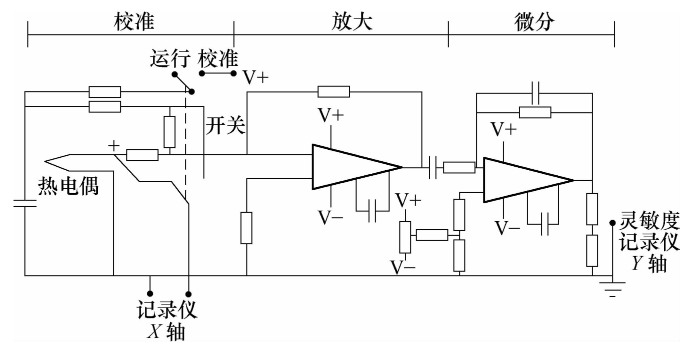


图 2 含微分器的典型电路

注：所有寄存器和电容的温度系数为 ±0.0001/℃。

5.5.2　精度

测量系统总的精度不应低于已考虑热电偶校准影响的记录值的 ±2.5%。

下面仪器指标表明最低要求。

5.5.2.1　微分器

电子微分器（图2）应满足如下要求：

a）应能接收最小 20mV/s 的输入；

b）在输入 20mV/s 时，输出应不小于 100mV，且时间常数的温度系数不大于 ±0.000 1/℃；

c）应装有时间常数不大于 0.1 s 的高频滤波装置；

d）输出电压的漂移在 15min 范围内不超过满刻度的 1%。

5.5.2.2　记录仪器

5.5.2.2.1　概述

为了精确分析记录数据，要求将所有的实验结果绘制在标准比例刻度图上。因此，在 5.5.2.2.2 和 5.5.2.2.3 中，描述了确定这种刻度图技术规格的推荐系统。但是，为了便于灵活选择仪器，在 5.5.2.2.4 中建议可选用 *Y-t* 记录仪。

5.5.2.2.2　冷却速率与温度的函数关系

用于记录冷却速率与温度的函数关系的 *X-Y* 记录仪应满足以下最低指标：

a）灵敏度：温度：0.2mV/mm；速度：5mV/s 或 10mV/s 或 20mV/s 应占用 250mm 长；

b）线性度：等于或高于 0.1%；

c）可重复性：等于或高于 0.5%；

d）记录速度：最小 200mm/s。

5.5.2.2.3　温度与时间的函数关系

记录温度与时间的函数关系的 *Y-t* 记录仪应满足以下最低指标：

a）灵敏度：等于或高于 0.2mV/mm；

b）线性度：等于或高于 0.1%；

c）精确度：等于或高于 0.5%；

d）记录速度：最小 200mm/s；

e）曲线速度精度：1%；

f）仪器应装有一个事件记录器，以便于记录探头接触淬火油的瞬间。

5.5.2.2.4　替代系统

一个两笔或两个一笔的 *Y-t* 记录仪可以作为替代系统使用。记录仪应具备 5.5.2.2.3 中所规定的性能。

5.6　电位差计

用于检查记录仪及微分器温度和速度轴的标距。

5.7　秒表

用于检查记录仪及微分器记录纸的速度。

6　采样

需要用 2L 淬火油样品，采集油样需认真操作以保证其具有代表性。为避免污染，盛油样的容器应是清洁和干燥的。

7　测试过程

7.1　测试次数

为了得到可重现 3 次的结果，同一油样测试应重复两次。

7.2 测试温度

7.2.1 探头温度

标准的探头温度应为850℃。在空气中，探头被加热到850℃ ±5℃，且测试开始前，探头应在此温度保持5min。

每次实验时，依据 *Y-t* 记录仪的温度轴（见5.5.2.2.3），再考虑冷端补偿和探头热电偶校准显示的误差进行适当的修正（见7.3.1），以确定探头温度值。实验前，冷端及探头热电偶校准值应记录在表格上。

7.2.2 样品的温度

淬火油样品应在指定产品使用的温度范围内测试。

淬火油的温度可以选择以满足个别要求。为便于比较，除非特别强调，推荐测试油温在40℃的条件下进行。

测试开始时，淬火油温度应在设定测试温度的 ±2℃之内。

为了减少热梯度，淬火油样在加热期间应适当搅拌，且测试开始前检查油样温度。测试应在静止的油样中进行。

7.3 校准

7.3.1 探头热电偶校准

7.3.1.1 概述

将已校正过的热电偶捆绑在探头的外表面，将探头加热到测试温度来校准探头热电偶，见5.2.4。

当探头温度达到平衡时，使用电位差计比较两个热电偶的输出。在测定温度850℃ ±5℃范围内，如果探头热电偶的输出误差超过给定值的 ±2%，则探头就要报废。7.3.1.3 中说明了较小误差的补偿方法。

7.3.1.2 重新校准的频率

新探头在使用前按7.3.1.1要求进行校准；对于在用的探头，在不超过25测试开始之前要进行校准；对于正常使用的探头，在每25次测试之后进行校准。

7.3.1.3 误差的补偿

测试开始前记录校准时确定的误差，在计算探头温度值和确定测试结果数据时予以考虑。

7.3.2 记录仪和微分器的校准

7.3.2.1 温度轴

每次测试开始前检查零点的设置。

连续测试开始前利用电位差计（见5.6）检查表格的刻度。例如，输入34mV给出170mm的偏移。

7.3.2.2 速度轴

微分器应包括一个完整的校准装置或具备通过外部测试设备校准的能力。

每次连续实验开始前检查微分器的校准。5mV/s、10mV/s、20mV/s的输入速率应能给出选定的250mm的图表刻度。

每次测试开始前，检查零点的设置。

7.3.2.3 时间轴

每次连续测试开始前，用秒表（见5.7）检查记录纸的速度。

7.4 测试

将待测淬火油样（见第6章）放入容器（见5.1）中，如果有必要，将油样调整到7.2.2要求

的测试温度。加热期间为减少热梯度应搅拌淬火油样。

将已经初始化的、清洁的和校准过的探头（见 5.2）放入加热炉中（见 5.3.1），加热到设定温度（见 7.2.1）。

在淬火前断开加热炉电源（为了避免可能对控制系统的干扰），放下记录笔，移动探头从炉中到淬火油样中，确保事件触发器记录探头与油样接触的瞬间。

当探头温度降到 200℃或指定测试所要求的低温值时，关上记录仪和微分器（见 5.5），将探头从油中移出，完成指定的清洗过程（见 5.2.7）。

8　结果表示

8.1　冷却曲线

如图 3 所示，绘制温度-时间和温度-冷却速率的函数关系。

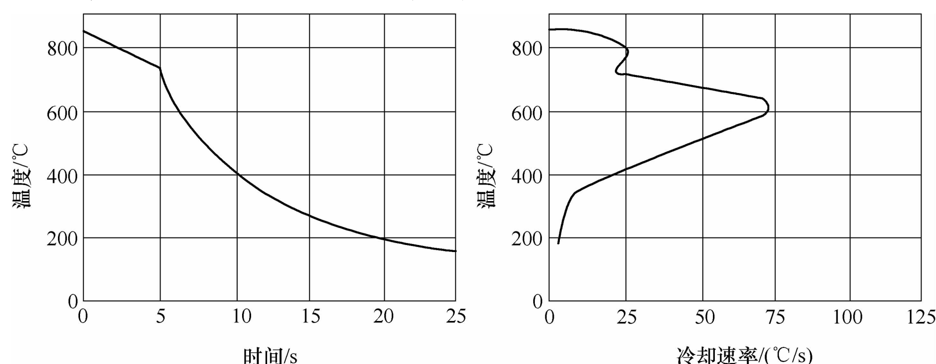


图 3　在淬火油中冷却的测试探头典型的温度-时间和温度-冷却速率曲线

8.2　冷却时间

根据绘制的温度-时间的函数关系，按 7.3.1.2 所述，用冷端及热电偶校准因子修正，读出如下数据。

探头从浸入温度降到下列温度所用时间：

a）600℃（精确到 0.5s）；

b）400℃（精确到 0.5s）；

c）200℃（精确到 1s）。

8.3　冷却速率

根据绘制的冷却速率-温度的函数关系，按照 7.3.1.2 所述，采用冷端和热电偶校准因子修正，读出如下数据：

a）最大冷却速率（精确到 0.5℃/s）；

b）发生最大冷却速率时所在温度（精确到 0.5℃）；

c）在 300℃时的冷却速率（精确到 0.5℃/s）。

9　测试报告

测试报告应包括如下内容：

a）淬火油样的完整评定；

b）参考本标准的标准号，如 GB/T 30823—2014；

c）结果及所用的表示方法（见第 8 章）；

d）在测试期间注意到的异常特性；

e）根据合同和其他要求，与标准程序的差异。

第七节 钢箔测定碳势法

一、概论

渗碳热处理是一种最常用的化学热处理方法，尤其以气体渗碳用途最广。渗碳热处理是要在工件表面建立一个合理的碳含量梯度层，必须具备一个活性的渗碳气氛，表征渗碳气氛渗碳能力的主要参数是气氛的碳势。碳势的高低直接影响了渗碳质量，碳势的测量和控制成为渗碳工艺过程控制的一个重要环节。渗碳气氛的碳势测量方法有间接法和直接法，例如，钢箔法（钢箔测定碳势法的简称）、热丝法、红外法、露点法、氧势法、火焰法等。钢箔法作为一种最原始的测量方法，具有快速、可靠、可直接反映气氛的碳势等一系列优点，被认为是一种最具权威的碳势测量方法，而成为其他测定碳势方法的标定方法。

为了满足日益快速发展的计算机自动控制渗碳工艺过程渗碳质量定量控制的要求，在吸收了国内外最新的研究成果，跟踪了解了国内有关生产企业的应用情况的基础上，于 2011 年修订了 JB/T 10312—2001《钢箔测定碳势法》。

本标准是一种热处理过程中工艺参数检测方法的指导性标准。本标准适用于气体渗碳气氛碳势的测量，并可用于其他测量碳势方法的标定。其编制基本原则是针对国内机械行业渗碳工艺控制过程中的碳势检测实际情况，吸收国内外先进经验，分别对用钢箔法测量碳势时所选用钢箔的材料及规格、钢箔渗碳装置及操作过程、钢箔渗碳后的碳含量测量方法等基本要求，做出较详细的规定和说明，使此方法得以正确使用。

二、标准应用说明

1. 碳势的物理本质及钢箔测定碳势法的依据

气体渗碳过程一般分为四个阶段，即气相中的化学反应及平衡、渗碳边界层中气相的传输、渗碳工件表面的相界面反应及渗碳工件中的碳原子扩散。

在 GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》中将碳势定义为：碳势是指表征含碳气氛在一定温度下改变钢件表面碳含量的能力的参数。通常可用低碳钢箔在含碳气氛中的平衡碳含量来表示。因此，用钢箔法测定碳势完全反映了碳势的物理本质和对其定义的内涵。

2. 钢箔测定碳势法应满足的基本条件分析

采用钢箔法测定碳势，首先应该考虑的是钢箔的化学成分。钢箔的原始碳含量应该较低，否则，钢箔渗碳时未溶解的渗碳体会使测量结果偏高。钢箔中合金成分会改变了碳的活度。由于合金元素及其含量不同，即使在同一碳势气氛中渗碳，得到的碳含量也会不同。

元素 Si、Ni 降低渗碳含量，Mn、Cr、Mo 增加渗层碳含量。另外，由相律可知，钢箔中存在合金元素时，高碳势渗碳时会出现第二相碳化物，此时，钢箔渗碳后得到的碳含量不仅受到气氛碳势的影响，而且受到碳原子扩散和第二相的影响，因而不能完全表征气氛的碳势。这种碳含量的不确定性要求钢箔中不能含有其他合金元素，而应该是纯度很高的低碳铁碳合金，钢箔材料成为钢箔测定碳势法应满足的第一个条件。美国金属学会推荐用 1008 钢或 1010 钢。根据我国具体情况，在不影响测量精度的条件下，本标准推荐用 08（08F、08Al）优质碳素结构钢。

其次，应该考虑的是钢箔的厚度和渗碳时间。根据扩散定律可知，当钢箔的半厚度小于碳扩散系数与碳在钢箔表面上传递系数的比值时，可认为碳的传输阻力主要来自于钢箔表面上发生的渗碳相界面反应，钢箔内部的碳含量梯度可忽略不计。在允许相对误差为 1% 的情况下，用钢箔也要经

过 2.3 倍的钢箔厚度与碳传递系数之比值长的时间才能被渗透。近似取碳扩散系数为 $10^{-7}cm/s^2$，碳传递系数为 $10^{-5}cm/s$，则钢箔的厚度应小于 0.05mm，因此，在允许相对误差为 1% 的情况下，钢箔渗碳时间应该大于 500s（8.3min）。用钢箔测得的气氛碳势只能代表渗碳气氛在某一时间段的平均碳势，钢箔的厚度越小，所代表的时间段越小。由此可以看出，采用相当薄的钢箔及足够长的渗碳时间，成为钢箔测定碳势法应满足的另一个条件。美国金属学会推荐用 0.1 ~ 0.25mm 厚、10 ~ 30mm 宽、75 ~ 160mm 长的钢箔。爱协林和德固沙工业炉有限公司提供的钢箔规格虽各不相同，但厚度极小是其共同的特点。为了方便于使用者，标准中只对钢箔的厚度和最小重量做出规定，对钢箔的长度和宽度没有具体规定，以便于适应于不同的情况。

3. 使用标准过程中应注意的几个问题

（1）钢箔渗碳操作及装置。渗碳炉上配备的钢箔渗碳装置和钢箔渗碳具体操作，对碳势的测量结果会有大影响，在应用标准时应特别注意。从使用单位反馈回来的意见看，由于渗碳炉的类型很多，且有大有小，直接给出一两种钢箔渗碳装置有些不妥，因而标准只规定了对钢箔渗碳操作及装置的基本要求，使用者可根据具体情况设计满足要求的钢箔渗碳装置，针对性地制定出操作细则。在此分别给出已有的井式渗碳炉和箱式渗碳炉上使用的钢箔渗碳装置及其操作程度，以供参考。

图 4.7-1 所示为井式气体渗碳炉上使用的钢箔渗碳工艺孔及渗碳操作位置。图 4.7-2 所示为箱式气体渗碳炉或连续气体渗碳炉上使用的钢箔渗碳工艺孔和渗碳操作程序。

井式气体渗碳炉上专用用钢箔测定碳势设计的工艺孔一般位于炉盖上，由压盖、压紧螺钉、冷却套和导管组成。若无此工艺孔，也可用带有冷却套的过程试样工艺孔代替。渗碳时，将用镍铬丝一端用压紧螺钉固定在压盖上。渗碳结束后，用镍铬丝将钢箔迅速拉到冷却套内进行快速冷却。冷却时间建议大于 1min 左右，以保证钢箔无氧化冷却后从冷却保护管中取出。

（2）钢箔渗碳后碳含量的测量方法。钢中碳含量的测量方法很多，目前应用于工业生产现场且能够快速定量分析的方法为化学分析方法，即燃烧气体容量法、碱石棉吸收重量法。对于钢箔渗碳后的碳含量，还可以用物理分析方法测得。国外一般推荐用称重法来确定钢箔渗碳后的碳含量的增量，这种方法快速、准确、简单方便，但国内目前形成了称重法和化学分析方法共存的局面。在本标准中推荐用称重法，但也不排除使用化学分析方法。

（3）测量结果的误差估计与精度计算。任何一次测量，总存在着许多影响测量的因素，影响因素的复杂性使人们很难获得真正的渗碳气氛碳势。测量误差是不可避免的，只能认知和排除误差，求出一个最佳值及其精度。一系列直接测量结果的最佳值是该系列测量结果中最近似于真值的数字。用最小二乘法分析正态分布的偶然误差，可以证明值测量结果的算数平均值就是该系列测量结果的最佳值。

通常一系列直接测量结果的精度是指该系列直接测量结果互相符合程度的数字，它在测量技术上有三种计算方法，分别为均方根误差 σ、或然误差 ε 和算数平均误差 α。当测量次数 n 较小时，用均方根误差 σ 能较好地反映测量结果的精度。当测量次数 n 趋于无限大时，$\varepsilon = 0.6785\sigma$，$\alpha = 0.7979\sigma$。测量最佳值的精度为：$\sigma_M = \sigma\sqrt{n}$，该系列测量结果可表示为：$\overline{C}_P \pm 3\sigma_M$。对于钢箔测定碳势法，由于一次放入的钢箔数有限，因此我们建议用均方根误差计算测量精度。

经计算，采用精度为 0.0001g 的分析天平，测量碳势为 1% 的渗碳气氛时，要使测量绝对误差小于 0.01%，须要求钢箔的重量大于 1g；对 0.00001g 的分析天平，须要求钢箔的重量大于 0.1g。

（4）对碳势测量和控制其他方法的标定。渗碳气氛的碳势测量方法很多。钢箔法作为一种直接测量方法，由于它具有相当高的准确性和精度，因而可作为其他测量碳势方法的标定方法。对相应的测量仪表进行校核，对渗碳控制系统的碳势控制精度进行标定，这是钢箔测定碳势法的一个重

要用途，因此本标准对此进行了具体规定，以利于此方法的正确使用。（西安热处理研究所杨鸿飞供稿）

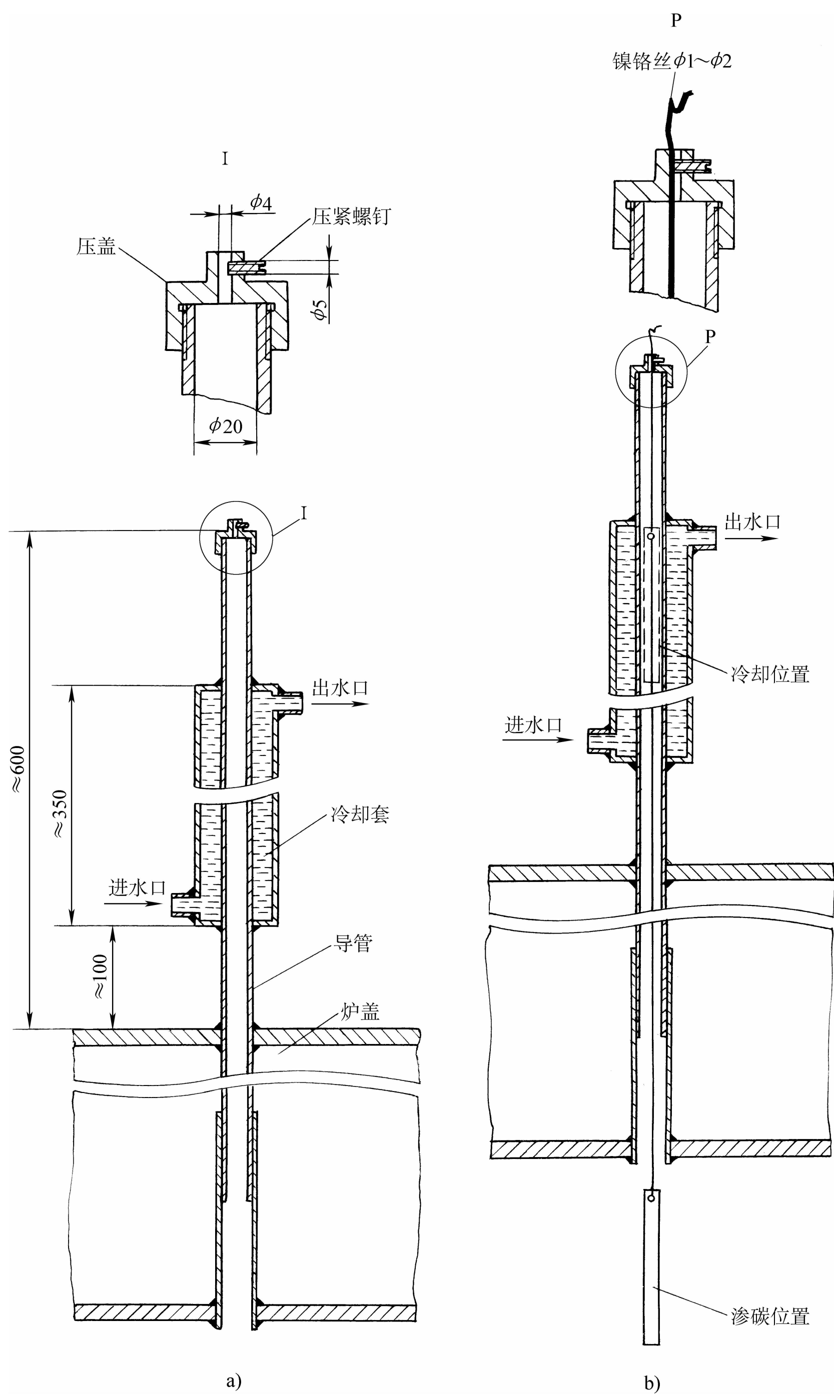


图 4. 7-1　井式气体渗碳炉上使用的钢箔渗碳工艺孔及渗碳操作位置
a）钢箔测定碳势工艺孔结构及尺寸　b）钢箔渗碳和冷却时所处的操作位置

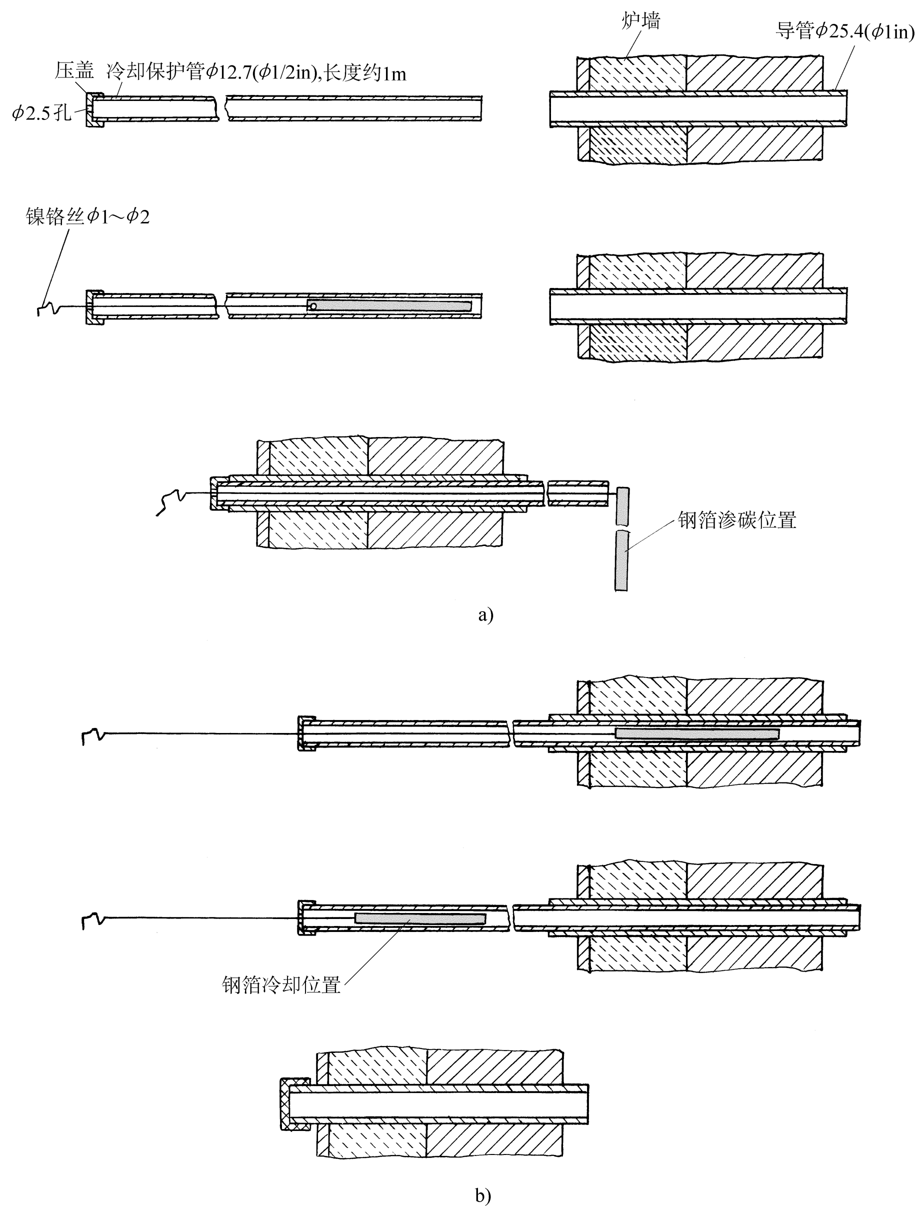


图 4. 7-2　在箱式气体渗碳炉或连续气体渗碳炉上钢箔渗碳工艺孔和渗碳操作程序
a）钢箔放入操作图示　b）钢箔取出图示

三、标准内容（JB/T 10312—2011）

钢箔测定碳势法

1　范围

本标准规定了钢箔测定碳势法所用钢箔的材料及规格、钢箔渗碳装置及其操作程序基本要求、钢箔渗碳后碳含量的测量方法。

本标准适用于气体渗碳气氛碳势的测量，并可用于其他测量碳势方法的标定及碳势控制仪器的

校核。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 223.69 钢铁及合金 碳含量的测定 管式炉内燃烧后气体容量法

GB/T 223.71 钢铁及合金化学分析方法 管式炉内燃烧后重量法测定碳含量

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

3 术语和定义

GB/T 7232 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 钢箔测定碳势 steel-foil method for determination of carbon-potential of carburizing atmosphere

将一定规格的洁净的低碳钢钢箔放入需要测量的渗碳气氛中，在渗碳温度下停留一定时间使钢箔均匀渗透，在渗碳气氛保护下快速冷却后取出，施行表面清洁后测定其含碳量，即为该区域的渗碳气氛的碳势。

4 钢箔的技术要求

4.1 钢箔的材料

钢箔材料选用优质碳素钢 08A（或 08F、08Al），材质应符合 GB/T 699 的要求。钢箔供货状态为冷轧态。其表面要求光亮、无毛边、无氧化、无锈蚀。

4.2 材料确认

所用的每一批钢箔必须附有材料质量保证书，保证材料成分和厚度尺寸的准确。必要时应对材料化学成分及表面状态进行复查。

4.3 钢箔的形状和规格

钢箔的形状呈矩形长条，一端有用于吊挂的小孔。钢箔厚度为 0.03～0.1mm，厚度偏差小于 0.01mm。钢箔边缘不得有毛边、毛刺。钢箔的长度和宽度可根据钢箔渗碳后碳含量的测量方法的要求确定。

4.3.1 用 10^{-4}g 精度的分析天平称重时，要求钢箔质量不小于 1g；用 10^{-5}g 精度的分析天平称重时，要求钢箔质量不小于 0.1g。

4.3.2 采用化学分析法时，钢箔质量应满足 GB/T 223.69、GB/T 223.71 的要求。

4.4 钢箔的保存、包装与标识

钢箔进行防锈处理后，应用干燥密封袋包装，保存于干燥器皿中。在包装袋上标识钢箔的化学成分、尺寸、供应厂家、购入时间。

5 钢箔渗碳装置和操作程序

5.1 钢箔渗碳装置的基本要求

5.1.1 钢箔渗碳装置由取样器、保护管组成。钢箔渗碳装置必须密封，确保在不进行测量碳势操作时，炉气不泄漏。其炉内放置位置根据渗碳工艺的要求和设备的状况而定，要求距离炉墙内壁大于 100mm。

5.1.2 保护管是钢箔进出炉子和渗碳后快速冷却的管道，它由炉内部分和炉外冷却套管组成。冷却套管与炉外壁距离一般为 200～300mm，保证渗碳后的钢箔能够快速冷却。

5.1.3 取样器应能固定钢箔，不影响钢箔的快速加热、渗碳和冷却，保证钢箔顺利放入和取出。

取样器在炉壁的出口应严加密封。

5.2　钢箔渗碳操作的基本要求

5.2.1　在钢箔放入炉内进行渗碳前，必须用分析纯丙酮（或专用清洗剂）清洗钢箔表面。已生锈的钢箔不能直接使用，必要时要用金相砂纸打磨钢箔表面后再清洗。

5.2.2　钢箔渗碳时间根据其厚度和渗碳温度从表 1 中选取。

表 1　钢箔在渗碳气氛中均匀渗透所需时间

钢箔厚度/mm	0.03 ~ 0.05			0.05 ~ 0.1		
渗碳温度/℃	>1000	1000 ~ 930	930 ~ 840	>1000	1000 ~ 930	930 ~ 840
渗碳时间/min	5	5 ~ 10	10 ~ 30	15	15 ~ 30	30 ~ 45

5.2.3　渗碳结束后将钢箔从炉内拉到冷却套管内，在渗碳气氛保护下冷却 3 ~ 5min 后取出，防止钢箔温度太高产生氧化。一旦发生氧化应换新钢箔重新试验。

6　钢箔渗碳前后称重装置和操作程序

6.1　称重用分析天平选择

钢箔质量大于 1g 时，选用精度为 10^{-4}g 分析天平称重；钢箔质量小于 1g、大于 0.1g 时，选用精度为 10^{-5}g 的分析天平称重。

6.2　钢箔渗碳前称重

钢箔渗碳前按 6.1 选择分析天平称重。同一钢箔应反复称量 2 ~ 3 次，取算术平均值作为钢箔渗碳前质量。对于精度为 10^{-4}g 的分析天平，同一钢箔每次质量相差不得大于 0.1mg；对于精度为 10^{-5}g 的分析天平，同一钢箔每次质量相差不得大于 0.01mg。

6.3　钢箔渗碳后称重

钢箔渗碳后按 6.1 选择分析天平称重。钢箔渗碳后质量为 W_f。

7　钢箔渗碳后碳含量计算

7.1　钢箔渗碳后碳含量的计算应用称重法按公式（1）进行。

$$w(C) = \frac{W_f - W_i}{W_f} \times 100\% + w(C)_0 \tag{1}$$

式中　$w(C)$——采用称重法测得的钢箔渗碳后的碳含量(%)；

$w(C)_0$——钢箔渗碳前的原始碳含量(可由供货方给出或用化学分析方法确定)(%)；

W_i、W_f——按 6.2、6.3 测得的渗碳前后钢箔的质量。

7.2　若不具备称量(重)法的条件,也可选用化学分析方法对钢箔渗碳后碳含量进行测量。化学分析方法的具体操作可按 GB/T 233.69 或 GB/T 233.71 中的规定进行。采用化学分析方法对钢箔渗碳后碳含量进行测量时,必须用分析纯丙酮(或专用清洗剂)清洗钢箔表面。

8　渗碳气氛碳势的确定

8.1　按公式(1)计算钢箔渗碳后的碳含量,为所测气氛的碳势测量值。必要时可检测 2 ~ 3 次,取其平均值作为所测气氛的碳势。

8.2　钢箔测定碳势法测量精度校核方法:一般用 6 ~ 8 片钢箔对同一渗碳气氛同时进行测量,取得的碳势测量值分别记为 C_p',其算术平均值记为 $\overline{C}_p$,用 n 表示测量用钢箔的总片数。钢箔测定碳势法测量精度 σ 按公式(2)计算:

$$\sigma = \pm 3\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(C_p' - \overline{C}_p)}{n(n-1)}} \tag{2}$$

8.3　采用钢箔测定碳势法对第一次使用的渗碳炉渗碳气氛碳势进行测量时，必须对钢箔测定碳势法测量精度进行校核，只有测量精度小于 ±0.03w(C) 时方可使用，否则应该排除测量误差后再进行测量。

9　其他碳势测量和控制方法的标定

用钢箔测定碳势法可以对其他碳势测量方法及其测量精度进行标定，亦可用于碳势控制仪表的校核。

9.1　其他方法测量值的标定

采用其他碳势测量方法可以获得与气氛碳势有关的某一物理量的测量值，对同一气氛按公式（1）测得的碳势值为其对应的碳势值。采用公式（1）测得的碳势值也可以对碳势控制仪表进行校核。

9.2　其他方法控制精度的标定

采用钢箔测定碳势法可以按式（3）计算对其他控制方法控制精度 σ^{c} 进行标定：

$$\sigma^{c} = \pm 3\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k}(C_{p}' - C_{p}^{s})}{k(k-1)}} \tag{3}$$

式中　C_{p}'——采用钢箔测定碳势法获得被控制气氛的第 i 次碳势测量值；

C_{p}^{s}——采用其他碳势测量方法进行控制时的碳势设定值；

k——采用钢箔测定碳势法测量碳势的总次数（要求大于 10 次）。

第八节　热处理钢件火花试验方法

一、概论

在材料管理过程中，在热处理现场最经济的常用方法是火花试验。该方法的应用已有很长的历史，虽然目前检测仪器有很大发展，但生产现场应用火花试验仍是首选。在国内外，甚至技术先进的日本等国至今仍在应用。

尽管钢的火花试验在热处理业内长期应用，也有少量这方面的出版物，并用作为操作工的基本技能之一，但是对火花试验至今我国仍无统一标准。火花判别标准往往是师傅传授，火花试验对照图谱仅以资料、手册形式应用，主要有以行业学会发布的一些钢种的火花素描图。究其主要原因是，火花是试验过程所见的瞬间图像，难以记录，参考图像大都是根据视觉记忆绘制的。同时，钢种繁多、试验条件不统一等也是相关的原因。

当前，随着数码技术的高速发展，为在线记录钢种火花提供了条件，也就为制定钢件火花试验标准提供了技术支持。同时《热处理钢件火花试验方法》标准的制定，对提高热处理工作管理水平，保证工艺质量具有明显的推动作用；对正确控制材质投放，减少材质事故，减少资源及能源损失都有积极意义。

国际上，关于钢的火花试验的文献及相关标准不多，主要有日本的 JIS G0566《钢的火花试验方法》(1980 年修订)，至今仍然是现行有效的标准。该标准是目前相对完整严密的、被引用最多的试验方法标准。韩国的 KS D0218《钢的火花试验》(1995 年修订）标准也是等效采用日本 JIS G 0566 标准。

本标准主要以修改采用 JIS G 0566：1980《钢的火花试验方法》的方法编制。编制过程中对火花特征进行了验证，删除及增加了部分内容。并以数码技术获得的数码火花图取代了 JIS 标准中的

素描火花图，使火花图的信息更多、更直观。

本标准规定了钢的火花试验的器具要求及试验条件、由钢的火花推定钢种的次序及方法；给出了有关碳素钢和合金钢的火花特征的图表；给出了 29 种热处理用钢的火花数码参考图。

本标准实用性强，使用简便、直观，可解决热处理从业人员在日常工作中对未知钢种的鉴别，有效提高热处理现场的材质管理水平，大幅减少混料、错料的质量事故，减少可能发生的经济损失及能耗浪费。

二、标准应用说明

1. 与 JIS G 0566 的区别

本标准修改采用 JIS G 0566，标准编号为 JB/T 11807—2014。JB/T 11807—2014 在以下几个方面对 JIS G 0566 进行了修改。

1）结构上的修改。本标准在结构上做了较大的编辑性修改：①把原标准中碳素钢的火花特征表 1、图 2 及图 3 列为本标准的资料附录 A；②把原标准中合金元素对火花特征影响的表 2 及图 4 列为本标准的资料性附录 B；③把原标准中钢中推定顺序表（表 3）列为本标准的表 1 及表 2；④删除了原标准中附图 1（碳钢火花素描图）及附图 2（合金钢火花素描图），以火花数码参考图替代，分别列为资料性附录 C、附录 D。

2）本标准增加了引用标准，包括砂轮机、砂轮等方面强制性安全标准。

3）修改原标准的火花试验器具的技术要求。按我国的相关标准，对试验用砂轮机及砂轮提出技术要求。

4）修改合金元素对火花特征影响。合金元素中，Cr 元素对火花标准的影响较复杂，但在 JIS G 0566 中仅列一条（一种情况），而实际上根据大量试验结果表明，在高 Cr 含量时对火花有明显抑制作用（如 20Cr13 钢），同时 Cr 含量低时，对火花的助长作用也因 C 含量不同而不同。因此，本标准中 Cr 的作用细化为三条。

5）对原标准选作参考火花图的钢种进行取舍、补充。JIS G 0566 中，列出了 10 种碳素钢的火花素描图，30 种合金钢的火花素描图。由于日本的常用钢种与我国常用钢不尽相同，另一方面，本标准不采用原标准素描火花图，另制数码火花参考图。因此，本标准基本按我国热处理常用钢选取 7 种碳素钢和 21 种合金钢，其中 15 种与 JIS G 0566 相同。

6）更换了全部火花图。采用数码技术，制作了相应钢件的数码参考图，使火花图更直观，便于理解，便于应用。

7）增加了有关数码火花图片制作方法的资料性附录。由于本标准采用数码火花参考图，因此有必要提供该种图片制作方法，并列出本标准中各火花参考图的摄制参数。

8）增加了职业卫生与劳动保护的要求。

2. 钢的火花产生及钢件鉴别原理

（1）钢的火花产生原理。钢铁材料在一定压力下与高速旋转的砂轮接触时，由于与砂轮的剧烈摩擦，温度急剧升高，钢铁被磨削成颗粒状脱离试件，并且沿着砂轮与材料接触点的切线方向做高速运动。同时与空气摩擦被加热成熔融状态，形成光亮的流线，当流线中熔融状态的金属颗粒与空气中的氧接触时表面被强烈氧化，形成一层 FeO 薄膜。钢中的碳在高温下极易与氧发生反应，使 FeO 还原（$FeO + C \rightarrow Fe + CO$）；被还原的 Fe 将再次被氧化，然后再次还原；这种氧化-还原反应循环进行，会不断产生出 CO 气体，当颗粒表面的氧化铁薄膜不能控制产生的 CO 气体时，就会爆裂从而形成火花。爆裂的碎粒若仍残留未参加反应的 FeO 和 C 时，将继续发生反应，则出现二次、三次或多次爆裂火花。钢中的碳是形成火花的基本元素，当钢中含有 Mn、Si、W、Cr、Mo 等元素

时，它们的氧化物将影响火花的线条、颜色和状态（但是 S、P、Cu、Al、Ti 等元素则无火花特征显示）。因此，根据火花的特征，可大致判断出钢材的碳含量和所含合金元素的含量。

（2）钢的火花组成及要素。钢的火花的素描图见标准中图 1，可见火花主要由明亮的流线及爆花（火花）组成。一般把火花流线分成三段：起始区的根部、中央及尾部，三部分基本等分。全部流线组成火花束。

火花鉴别的要素分两方面：流线及爆花。

1）流线：粗细、长短、数量、光亮程度、色泽、形态（直线、曲线、波纹线、间隙状虚线等）。

2）爆花：形状［分叉（枝），分次（段）］、数量，有无花粉状微粒，以及特征花样等。

爆花进一步可细分：爆花的原点一般十分明亮，称为节点；爆花的分叉枝，也称为芒线。在流线尾端的爆花也有称为尾花的。一般均为合金元素的特种爆花，如狐尾状、枪箭状、菊花状等。

（3）碳钢中碳含量对爆花形态影响。钢的火花中的爆花多少、形态主要与碳的存在及多少有关。

1）碳含量（质量分数）为 0.25% 以下时，在流线上的爆花，只有一次爆裂的芒线，花形较简单，有两叉、三叉和多叉几种。爆花分叉的增加说明钢中碳含量增多。

2）碳含量（质量分数）为 0.3% ~0.6% 时，流线上的爆花在第一次爆裂的芒线上，又一次发生爆裂所呈现的爆花形式，称为二次花。它也随碳含量的不同分为三叉、四叉和多叉几种。

3）碳含量（质量分数）为 0.65% 以上时，流线上的爆花在第二次爆裂的芒线上再一次（或数次）爆裂所呈现的极为细小而复杂的火花形式，称为三次花（或多次花），这种爆花是碳含量（质量分数）为 0.65% 以上的碳钢的火花特征。

4）当碳含量（质量分数）超过 0.5% 时，在爆花的周围及分叉之间出现点状火花，称为花粉。

（4）合金元素对钢的火花形态影响。钢中加入合金元素后，会影响火花特征。有的元素会助长爆花的爆裂，有的元素会抑制爆花的爆裂，有的元素随含量的不同起不同的作用。

锰：抑制爆花作用与锰含量及碳含量有关。当钢中锰含量较高时，钢的火花比较整齐，色泽也比碳钢黄亮，碳含量较低时，含锰钢呈白亮色，爆花核心大而有亮的节点，花型较大，芒线稀少且细长。高碳锰钢，爆花有较多的花粉。低锰钢的流线粗而长，量较多。高锰钢流线短粗且量少。

钨：抑制爆裂作用最为强烈。钨含量（质量分数）达到 1.0% 左右时；爆花显著减少，钨含量（质量分数）为 2.5% 时，爆花呈凸尾状（也称狐尾）。钨使火花色泽变暗。钨抑制爆花爆裂作用的大小，与钢中碳含量有关，低碳钢中钨含量（质量分数）为 4% ~5% 时，钨可完全抑制爆花爆裂。从火花色泽上看，含钨钢中的碳含量越高，火花越是呈暗红色。

钼：具有较强烈的抑制爆花爆裂，细化芒线和加深火花色泽的作用。含钼钢的火花色泽是不明亮的，当钼含量较高时，火花呈深橙色，含钼钢有没有枪尖尾花，与钼含量和碳含量有关，碳含量越低，枪尖越明显。

硅：也有抑制爆花爆裂的作用。当硅含量（质量分数）达 2% ~3% 时，这种抑制作用就较明显，它能使爆裂芒线缩短。硅锰弹簧钢的火花呈橙红色，流线粗而短，芒线短粗且少。火花试验时手感抗力较小。

镍：对爆花有较弱的抑制作用，使花形不整洁和缩小，流线较碳钢细，随镍含量增高，流线的数量减少及长度变短，色泽变暗。

铬：影响比较复杂。对于低铬低碳钢，铬有助长火花爆裂、增加流线长度和数量的作用，火花呈白亮色，爆花为一、二次花，花型较大。对于碳含量较高的低铬钢，铬助长爆裂的作用不明显，并阻止枝状爆花的发生，流线粗短而量较少，火花束仍然明亮。由于碳含量高，爆花有花粉。随铬含量增加，火花的爆裂强度、流线长度、流线数量等均有所减少，色泽也将变暗。含铬钢中若含有

抑制爆裂和助长爆裂的合金元素存在，则钢的火花现象表现复杂，为判定钢的铬含量，需配合其他试验方法。

3. 由钢的火花（鉴别）推断钢种的基本方法

钢的火花亮度、火束大小以及爆花的爆裂程度与钢样受砂轮摩擦磨削程度有关。为能得到一个稳定的，有充足火花信息的火花，应有一个稳定的、统一的和适当的试验条件。

由钢火花推断钢种的重要依据是与已知钢种火花的比较。

（1）钢的火花试验条件。钢的火花试验条件如下：

1）砂轮机：电动型或压缩空气型、固定式或移动（手动）式均可，但应能产生充分的火花，以利观察、拍摄，同时应符合安全要求的砂轮。

2）环境：应避开直射光以及风吹的影响，宜用暗色幕屏或暗箱。

3）磨削时砂轮线速度：一般应控制在20m/s以上，但不能超过所用砂轮的最高允许速度。

4）手持试样对砂轮的压力：一般应能使碳的质量分数约为0.2%的碳素钢产生500mm长的火花束的压力，以此为依据，并保持稳定。实际操作时，一般经验是：当要确定碳含量时压力偏大些，当要确定合金元素时压力偏小些。

（2）由钢火花推断钢种的基本顺序。由钢火花推断钢种（类别）的基本思路是：先按有无碳素爆花分大类，再按爆花的特征进一步分类，概略推断，基本顺序见图4.8-1，或见标准中的表1及表2。

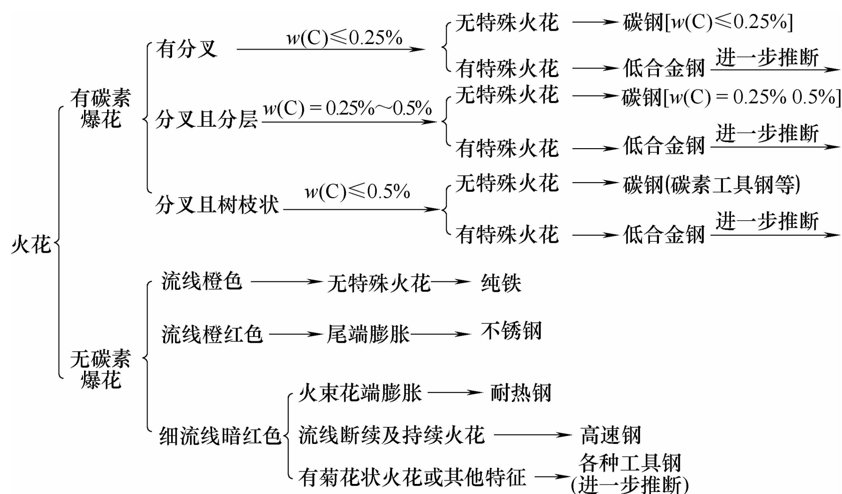


图4.8-1　由火花概略推断钢种基本顺序图

由上述程序概略推断钢种后，应进一步与已知标准钢样的火花进行比较，校正并最后推定。

若火花不典型难以推断或无法推断，则应采用化学分析或其他方法来判定。

4. 火花图及火花图制作

（1）火花示意图及素描图。钢的火花是流动的，流线、爆花瞬时即逝，看到并形成“印象”的是视觉残留，是瞬间视图的一种叠加结果。有关流线的各种信息，如分叉、分层、花粉、枪花和狐尾等，这些信息的捕获需要一种敏感，这种敏感源于指引，源于积累的经验，类似中医的把脉，老中医可以从脉象中获得更多更准确的信息。

在早期的文献中，一般为示意性的火花图，如图4.8-2所示。而在JIS G 0566中火花图以素描图形式列出，实际也属于示意性质，也只有在理解后才能意会，如图4.8-3所示。

（2）数码技术下的火花图。在网络上可找到钢的火花试验示范视频，但流动的火花无法分析细节。目前由于数码技术的发展，用数码成像技术较完整的记录、制作火花图成为可能。日本的山本一桌在日本《热处理》杂志上分两期（2011 年 51 卷 1 号及 2 号）分别发表了碳素钢及合金钢的火花摄像图，共 6 幅，但信息并不完整，主要验证了 JIS G 0566 中所说明的某些爆花特征。



图 4.8-2　40 钢（45 钢）火花示意图

（3）本标准的火花图制作。由于火花是流动的，爆花的闪耀点并不固定，爆花爆裂的时间间隔也不固定，因此，每一瞬间拍摄下的图像所含有的信息不一定完整，只有部分图片可能相对完整。要获得信息较完整的火花图，目前，解决方案有两个，用图片叠加法或在大量已获图片中筛选。这两种方案实施的前提是必须连续拍摄 20 张以上的照片。本标准中的数码图为在连续拍 30 张中筛选所得。

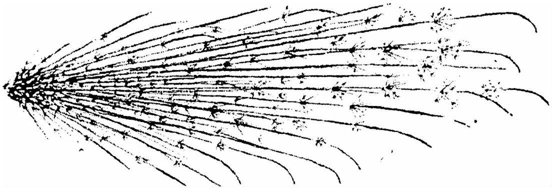


图 4.8-3　40 钢火花素描图

目视所见，并经总结的一些火花特征，应在一定摄像条件下才能获得，同时还要考虑各信息表达的平衡问题，比如过亮的流线与过暗尾花的协调，因此，火花的拍摄不宜采用自动模式。

拍摄火花图的重要参数是曝光时间。时间过短，所摄火花轨迹（流线）过短，而时间过长，则火花轨迹会重叠，即信息重叠。经过多次试验比较，一般采用 1/10s 曝光速度能较好地、较完整地表现出火花图像。

曝光速度确定后，光圈及感光度就决定了曝光量。根据实际效果，一般选择 $f/5.6 \sim f/11$ 光圈值，ISO 400 ~ ISO 800 感光度，具体应按火花的亮度而定。曝光量少就会信息缺失，曝光量过多就会发生信息湮没。图 4.8-4 所示为较正常的 45 钢火花图，图 4.8-5 所示为过量曝光的 60 钢火花图，在其根部及中部白亮化，无信息可读。



图 4.8-4　45 钢火花图

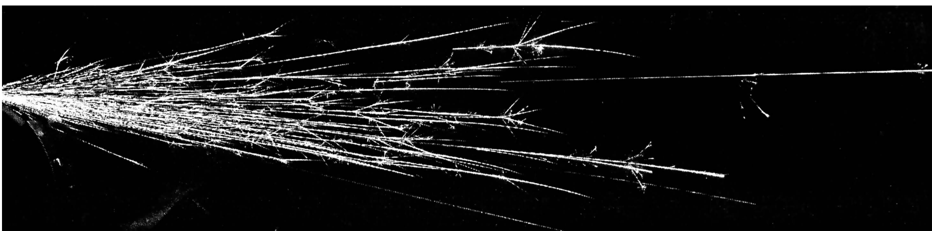


图 4.8-5　60 钢过量曝光的火花图

在正常的试验火花条件下，选择合适的摄影参数，并获得一些典型的火花，如图 4.8-6 所示。

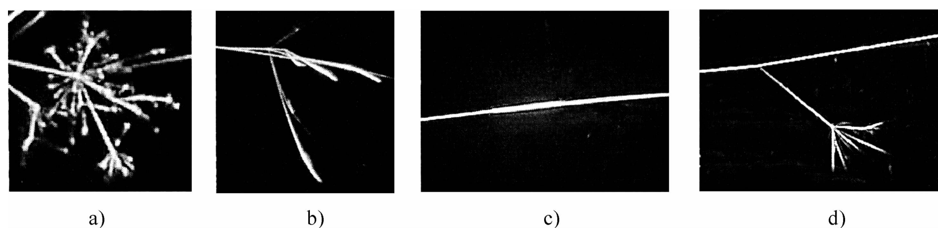


图 4.8-6　一部分典型火花

a）菊花　b）狐尾　c）膨胀节　d）多次分叉

本标准所列的火花参考图。拍摄参数如下：

1）相机：CANON（像素 1500 万）可连续拍摄。

2）镜头：CANON，EFS 17～85mm。

3）快门速度：1/10s。

4）光圈值：*f*/5.6～*f*/11。

5）感光度：ISO 400（部分 800 或 1600）。

6）色温：3200K。

由连续拍摄 30 张图片中筛选。

5. 应注意的几个问题

1）火花试验中，火花的形态的控制需要一定的实践经验，需经一定时间的培训。

2）尽管数码技术可提供较客观的图像，但在制作过程中仍有许多边界条件需要操作者摸索。

3）钢种的推定，不能光靠火花图，更应配置标准试棒，以此作为参照更为可靠。（上海市机械制造工艺研究所有限公司任颂赞供稿）

三、标准内容（JB/T 11807—2014）

热处理钢件火花试验方法

1　范围

本标准规定了用砂轮机对钢锭、钢坯、钢材进行火花试验（以下称试验）的方法。

本标准适用于对热处理用钢件进行钢种的推定或鉴别。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2485　固结磨具　技术条件

GB 2494　普通磨具　安全规则

JB 8799　砂轮机　安全防护技术条件

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1　钢的火花试验　spark test for steels

根据钢件在砂轮机上磨削出火花的特征推定或鉴别具体钢种。

注：火花试验适用于碳钢、合金钢及铸铁等，能鉴别出钢中的常见合金元素，但对 S、P、Cu、Al 及 Ti 等元素无法分辨其火花特征。

3.2　钢种的推定　presumption of steel grade

对钢种不明的待测件进行试验，推定其钢种。

3.3　异种钢材的鉴别　identification of different material

对可能混入的异种钢材（待测件）进行试验，鉴别异材或确认有无异材混入。

4　火花的形状及名称

4.1　钢件在砂轮机上磨削出的火花形状及名称如图 1 所示。

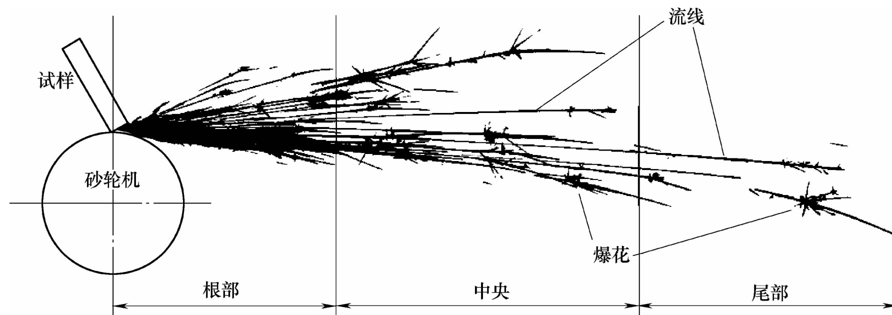


图 1　火花的形状及名称

4.2　火花流线（简称流线）为钢件磨削时，高温熔融状的钢铁屑末从砂轮上直接飞射出来形成的趋于直线状的光亮轨迹。流线的长度、亮度及颜色与化学成分相关。

4.3　爆花为钢件磨削时，熔融态钢屑末在飞射中被强烈氧化爆裂而成。组成爆花的每一根细小流线称为芒线。在芒线之间可见有点状似花粉分布的亮点，称为花粉。

5　试验器具

5.1　为使试验条件一致，通常应使用同一试验器具。

5.2　应采用能充分磨削出火花、便于观察并能安全进行磨削的砂轮机，电动型（固定式或移动式）、压缩空气型均可使用。

5.3　应使用符合 GB/T 2485 技术要求所规定的陶瓷结合剂砂轮。砂轮的粒度为 F36 或 F46。移动式砂轮直径为 100 ~ 150mm，固定式砂轮直径为 200 ~ 250mm。试验时，一般线速度应大于 20m/s，但不能超过所用砂轮的最高允许速度，应符合 GB 2494 的安全规则。砂轮机的使用应符合 JB 8799 规定的安全防护要求。

5.4　为防止风的影响、避免直射光及需调节周围的亮度时，可使用适合于进行火花试验的暗幕、屏障物或移动暗箱。

6　标准试样

6.1　将已知化学成分的各种钢棒作为标准试样。标准试样一般为棒料，直径为 12 ~ 25mm，长度为 100 ~ 150mm。

6.2　标准试样的化学成分应按相关国家标准所规定的方法确定。

6.3　标准试样在试验前，应去除脱碳层、氧化层及气割层等，使其所产生的火花信息能准确代表该钢种。

6.4　标准试样应尽可能与待测件有相似的工艺过程。

7　试验方法

7.1　试验规则

7.1.1　试验应使用同一器具，并在相同条件下进行。

7.1.2　原则上，试验应在适当的暗室内进行。若在室外或明亮处进行时，应使用辅助器具，可调节背景亮度，防止光线直射火花，使其不影响对火花的颜色和亮度进行观察。

7.1.3　进行试验时，应避免风的影响，尤其不可逆风产生火花。

7.1.4　首先去除待测件表面的脱碳层、氧化层及气割层等，使其能磨削出代表待测件真实化学成分的火花。

7.1.5　待测件、标准试样对砂轮的压力，或砂轮对待测件、标准试样的压力应尽量保持均匀、相等。原则上，所使用的压力应使碳含量（质量分数）为0.2%的碳素钢所产生的火花长度达500mm左右。

7.1.6　火花应向水平或斜上方飞溅。观察火花时，原则上应从流线后方或从流线侧面观察，并可在一定条件下拍摄数码图像。

7.1.7　观察火花时，应在其根部、中央及尾部各部位，对火花的流线、流线上的爆花等特征按下列项目加以观察及判别。

7.1.7.1　流线。观察颜色、亮度、长度、粗细及条数等。

7.1.7.2　爆花。观察形状、大小、数量及花粉等。

7.1.7.3　手感度。硬或软。

7.2　钢种推定试验

7.2.1　进行钢种推定时，应按7.1的规则进行试验，按第8章的要求观察流线、爆花等特征，在推测含碳量、合金元素的种类和大致含量之后推定钢种。

7.2.2　钢种的具体推定过程，应按8.2的规定进行。

7.2.3　按8.2的推定顺序，在初步推定钢种之后，再与标准试样进行火花比较，修正推定结果。

7.3　异种钢材鉴别试验

7.3.1　取相当于待测钢种的标准试样进行试验，并确认其火花。

7.3.2　对全部试样件按7.1的规则进行试验，按第8章钢种推定的顺序观察火花。异种钢材的鉴别依下述步骤进行。

7.3.2.1　所有观察项目均与标准试样无差异时，可推定无异种钢材混入。

7.3.2.2　观察项目中，若有一项以上与标准试样有显著差异时，将具有此差异的试样件作为异种钢材。

7.3.2.3　观察项目中，若有无法确认的项目时，须进行化学分析或其他试验后，做更进一步的确认。

8　钢种推定的准则

8.1　钢种推定方法

8.1.1　碳素钢的火花特征

包括火花流线特征（颜色、亮度、长度及数量等）、爆花特征（形状、大小、数量及花粉等）及手感度等，参见附录A。部分碳素钢火花参考图参见附录B。

8.1.2　钢件中合金元素的火花特征

包括合金元素对火花特性的影响（流线、爆花等）及手感度等，参见附录C。部分合金钢的火花参考图参见附录D。

8.2　钢种推定的顺序

8.2.1　根据火花试验法，钢种推定顺序见表1、表2。

表 1 有碳元素爆花试样的钢种推定顺序表

第 1 分类			第 2 分类			钢种推定	
观察	特征	分类［C 含量（质量分数）］	观察	特征	分类	特征	推测钢种举例
爆花分叉	数根分叉	<0.25%	特殊爆花	无特殊爆花 单碳元素爆花	碳素钢	—	普通碳素钢(08 钢、20 钢) 优质碳素钢（Q235B）
						羽毛状	沸腾钢
				有特殊爆花	低合金钢	膨胀节，分裂剑花 Ni 菊花状、手感硬 }Cr 根部附近破裂明显 枪尖尾花 Mo	铬镍钢（12CrNi3） 铬钢（20Cr） 铬钼钢（20CrMo）
	数根分叉、多次花	≥0.25% <0.50%	特殊爆花	无特殊爆花 单碳元素爆花	碳素钢	—	碳素钢（30 钢、45 钢）
				有特殊爆花	低合金钢	膨胀节，分裂剑花 Ni 菊花状、手感硬 }Cr 根部附近破裂明显 枪尖尾花 Mo	铬镍钢（30CrNi3） 铬钢（40Cr） 铬钼钢（42CrMo） 铬镍钼钢（5CrNiMo）
	分叉多、树枝状	≥0.50%	特殊爆花	无特殊爆花 单碳元素爆花	碳素钢	—	碳素工具钢（T10、T8） 弹簧钢（85）
				有特殊爆花	低合金钢	菊花状、手感硬 }Cr 根部附近破裂明显	轴承钢（GCr9、GCr15、GCr9Mn）
						苍耳果实状爆花 Si	合金弹簧钢（60Si2Mn）

表 2 无碳元素爆花试样的钢种推定顺序表

第 1 分类			第 2 分类			钢种推定	
观察	特征	分类	观察	特征	分类	特征	推测钢种举例
流线颜色	橙色	橙色系	特殊爆花	无破裂	纯铁	—	纯铁
	略微发红的橙色	橙色系	特殊爆花	顶端膨胀节	不锈钢	有磁性	20Cr13
						无或弱磁性	06Cr19Ni10
	暗红色流线细	暗红色系	特殊爆花	无破裂，顶端附膨胀花	耐热钢	—	40Cr10Si2Mo
			特殊爆花	无破裂，断续波状流线	高速工具钢	菊花，小滴	W18Cr4V
						裂花，小滴	W18Cr4VCo5
						带顶附膨胀花	W6Mo5Cr4V2
			特殊爆花	带白须的枪状	合金工具钢	—	9CrWMn
				细的菊花状繁多	合金工具钢	—	Cr12、Cr12MoV

8.2.2 首先根据有无碳元素爆花，大致可区分为碳素钢、低合金钢或高合金钢两大类，应按表 1 及表 2 的顺序进一步推定钢种。

8.2.3 碳素钢、低合金钢的进一步推定。

8.2.3.1　首先根据碳元素爆花分叉数量及形态推定碳含量，大致区分碳含量（质量分数）为<0.25%、0.25%~0.5%及>0.5%等三类（表1中的第1分类）。

8.2.3.2　若碳含量（质量分数）在0.5%以下，可能含Ni、Cr、Si、Mo、Mn等合金元素时，及若碳含量（质量分数）在0.5%以上，除含以上的合金元素外，还会含有W、V等合金元素时，根据表1中的第2分类检查是否含有这些特殊元素来推定是碳素钢还是低合金钢。

8.2.3.3　若为低合金钢时，应观察合金元素的火花特征，根据其种类及含量来推定钢种。

8.2.4　高合金钢：主要根据其流线的颜色来区分不锈钢、耐热钢、高速工具钢及合金工具钢（如表2的第1、2分类）。这些高合金钢因含有Ni、Cr、Mo、W、V及Co等合金元素，可根据其火花的特征，观察出合金元素种类及含量来推定钢种。

9　使用火花试验方法难以判别及无法判别的钢种的处理

当待测件的火花不典型，钢种推定非常困难或无法判断时，应采用化学分析方法或其他试验方法来推定其钢种。

10　安全生产与职业健康要求

试验过程中的安全生产与职业健康要求应符合国家的相关规定。

附　录　A

（资料性附录）

碳素钢的火花特征

碳素钢的火花特征见表A.1，碳素钢的火花特性如图A.1所示，碳素钢火花的特征（碳的火花分叉）如图A.2所示。

表A.1　碳素钢的火花特征

碳含量（质量分数,%）	流线					火花分叉				手感度
	颜色	亮度	长度	粗细	数量	形状	大小	数量	花粉	
0.05以下	橙色	暗	长	粗	少	无火花分叉但有刺				软
0.05						2分叉	小	少	无	
0.10						3分叉			无	
0.15						多分叉			无	
0.20						3分叉 2次花			无	
0.30						多分叉 2次花			开始 产生	
0.40						多分叉 3次花			少	
0.50										
0.60		明	长	粗			大			
0.70										
0.80										
0.80以上	红色	暗	短	细	多	复杂	小	多	多	硬

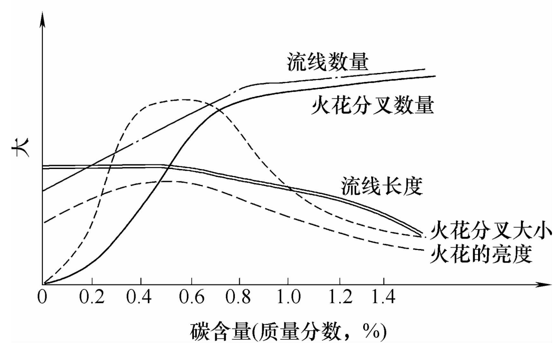


图 A.1　碳素钢的火花特性

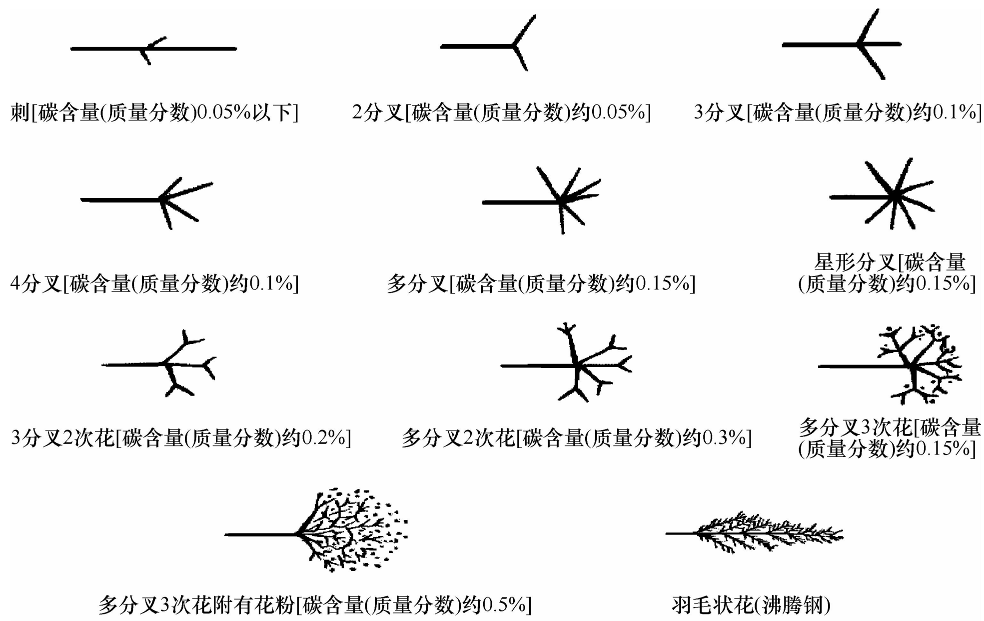


图 A.2　碳素钢火花的特征（碳的火花分叉）

附　录　B

（资料性附录）

碳素钢的火花参考图

所列钢种源自 GB/T 1298，火花参考图如图 B.1 ~ B.7 所示。



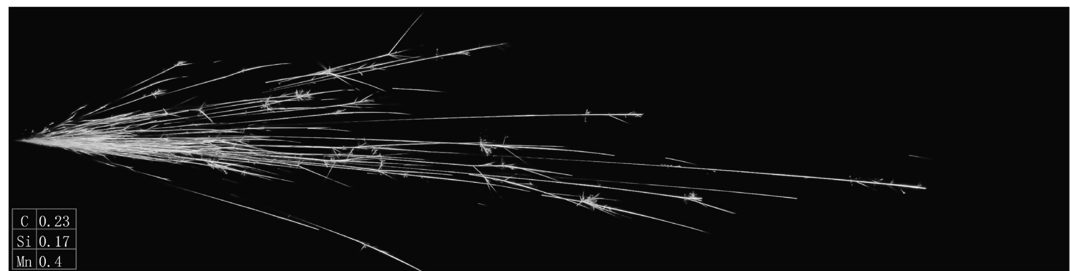
注：几乎只有流线，较粗大，可见少量毛刺。

图 B.1　碳含量（质量分数）约 0.03% 钢的火花参考图



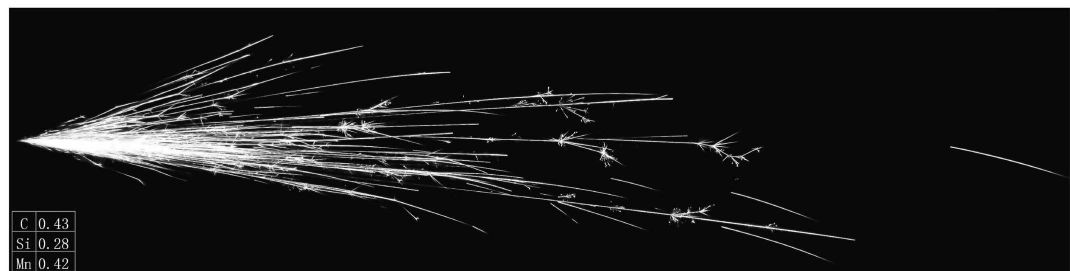
注：以流线为主，有少量2分叉及3分叉的爆花。

图 B. 2　碳含量（质量分数）约 0. 08% 钢的火花参考图



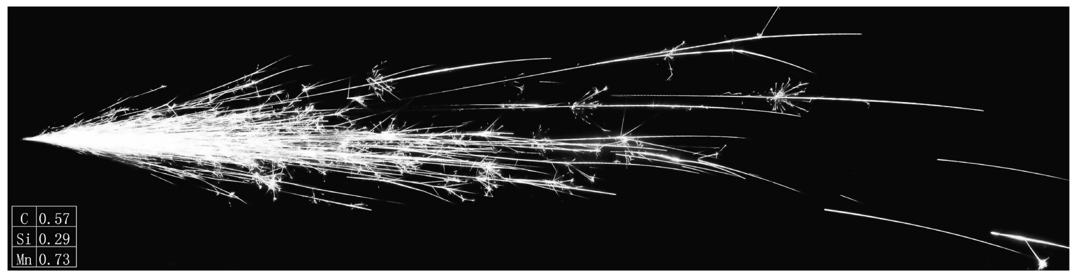
注：爆花中出现3分叉及2次花。

图 B. 3　碳含量（质量分数）约 0. 20% 钢的火花参考图



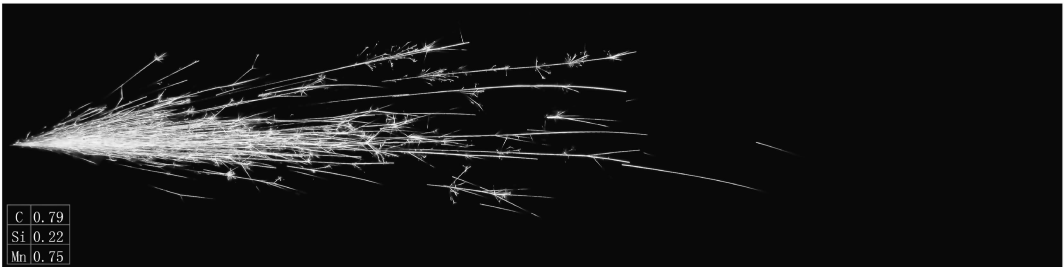
注：相对明亮些，爆花中出现3次分叉花。

图 B. 4　碳含量（质量分数）约 0. 45% 钢的火花参考图



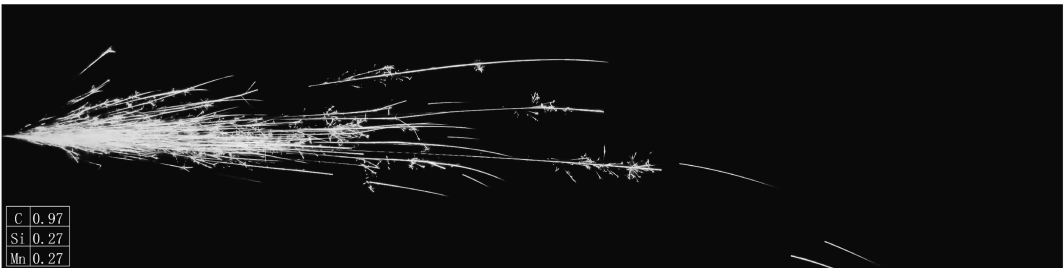
注：流线多而亮，爆花分叉长，带有花粉。

图 B. 5　碳含量（质量分数）约 0. 60% 钢的火花参考图



注：流线相对短些，暗些带红，爆花多但较小。

图 B.6　碳含量（质量分数）约 0.80% 钢的火花参考图



注：流线偏短，趋红色，爆花小。

图 B.7　碳含量（质量分数）0.90% ~1.20% 钢的火花参考图

附　录　C

（资料性附录）

合金钢的火花特征

合金元素对火花特性的影响见表 C.1、合金元素的火花特征如图 C.1 所示。

表 C.1　合金元素对火花特性的影响

<table>
<tr><th rowspan="2">影响区别</th><th rowspan="2">合金元素</th><th colspan="4">流　线</th><th colspan="4">爆　花</th><th rowspan="2">手感度</th><th colspan="2">特征</th></tr>
<tr><th>颜色</th><th>亮度</th><th>长度</th><th>粗细</th><th>颜色</th><th>形状</th><th>数量</th><th>花粉</th><th>形状</th><th>位置</th></tr>
<tr><td rowspan="4">助长碳火花分叉</td><td>Mn</td><td>黄白色</td><td>明</td><td>短</td><td>粗</td><td>白色</td><td>复杂，细树枝状</td><td>多</td><td>有</td><td>软</td><td>花粉</td><td>中央</td></tr>
<tr><td rowspan="2">低 Cr</td><td>黄白色（低 C）</td><td>不变</td><td>长</td><td>不变</td><td rowspan="2">橙黄色（高 C）</td><td rowspan="2">菊花状（高 C）</td><td rowspan="2">不变</td><td rowspan="2">有（高 C）</td><td rowspan="2">硬</td><td rowspan="2">菊花状（高 C）</td><td rowspan="2">尾部</td></tr>
<tr><td>橙黄色（高 C）</td><td>暗</td><td>短</td><td>细</td></tr>
<tr><td>V</td><td colspan="4">变化少</td><td>变化少</td><td>细</td><td>多</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="5">阻止碳火花分叉</td><td>W</td><td>暗红色</td><td>暗</td><td>短</td><td>细波状断续</td><td>红色</td><td>小滴狐狸尾</td><td>少</td><td>无</td><td>硬</td><td>狐狸尾</td><td>尾部</td></tr>
<tr><td>Si</td><td>黄色</td><td>暗</td><td>短</td><td>粗</td><td>白色</td><td>白玉</td><td>少</td><td>无</td><td>—</td><td>白玉</td><td>中央</td></tr>
<tr><td>Ni</td><td>红黄色</td><td>暗</td><td>短</td><td>细</td><td>红黄色</td><td>膨胀闪光</td><td>少</td><td>无</td><td>硬</td><td>膨胀闪光</td><td>中央</td></tr>
<tr><td>Mo</td><td>橙黄带红</td><td>暗</td><td>短</td><td>细</td><td>橙黄带红</td><td>箭头</td><td>少</td><td>无</td><td>硬</td><td>箭头</td><td>尾部</td></tr>
<tr><td>高 Cr</td><td>黄色</td><td>暗</td><td>短</td><td>细</td><td>—</td><td>—</td><td>少</td><td>无</td><td>硬</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>

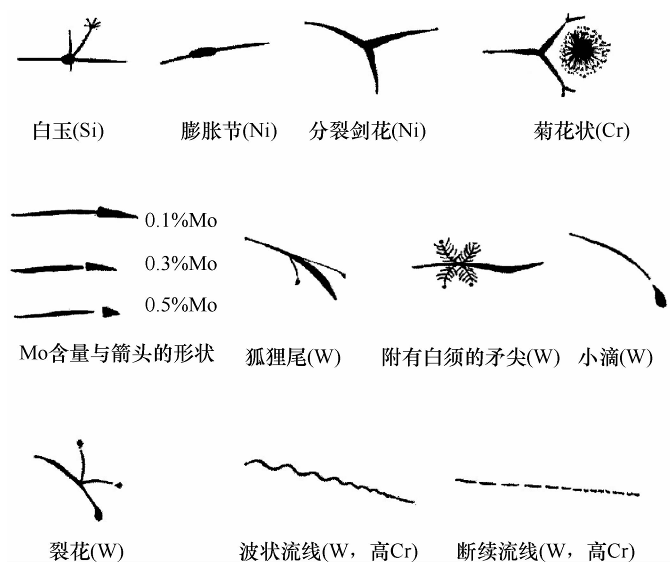


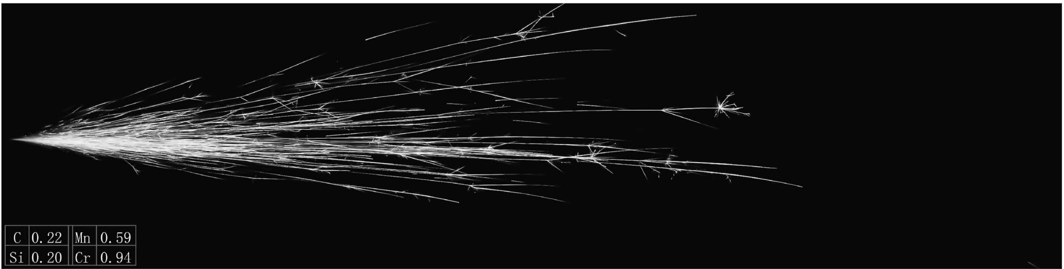
图 C.1　合金元素的火花特征

附　录　D

（资料性附录）

合金钢的火花参考图

所列钢种分别源自 GB/T 1222、GB/T 1299、GB/T 3077、GB/T 9943、GB/T 18254 及 GB/T 20878，如图 D.1～D.21 所示。



注：花根区火花类似20钢，色泽略为明亮。

图 D.1　20Cr 钢火花参考图



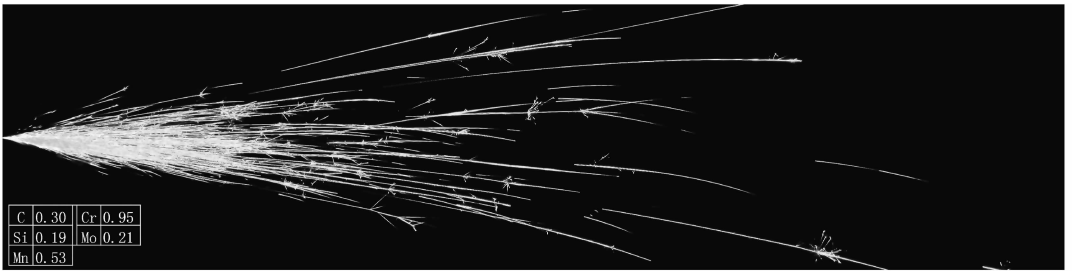
注：花根区域爆花略为明亮。

图 D.2　40Cr 钢火花参考图



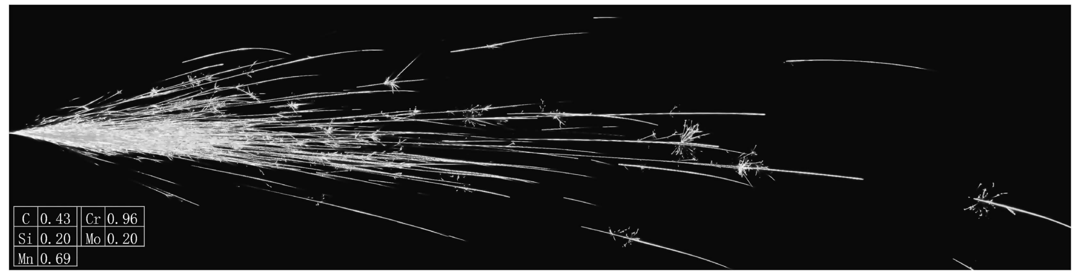
注：除有碳含量(质量分数)约0.2%钢的火花特征外，流线尾端可见Mo的箭头状特征。

图 D.3　20CrMo 钢火花参考图



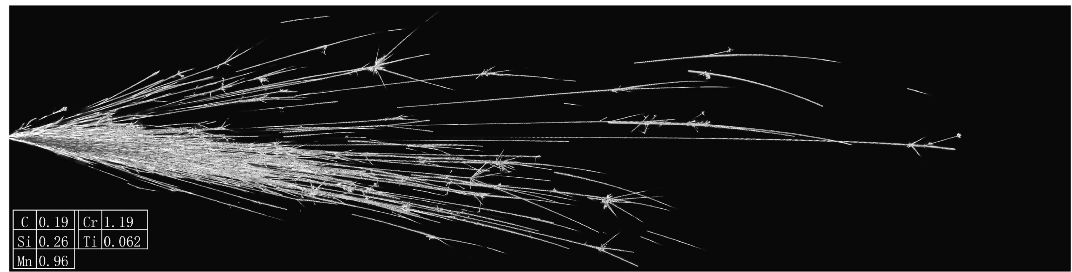
注：爆花及分叉较20CrMo相对多，隐约可见Mo的箭头状特征。

图 D.4　30CrMo 钢火花参考图



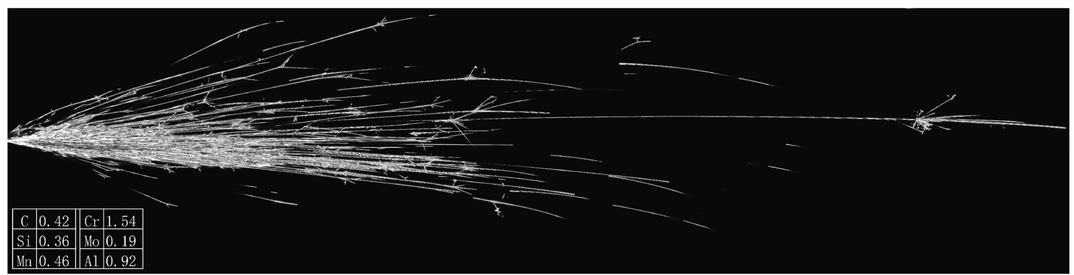
注：除有碳含量(质量分数)约0.45%钢的火花特征外，隐约可见Mo的箭头状特征。

图 D.5　42CrMo 钢火花参考图



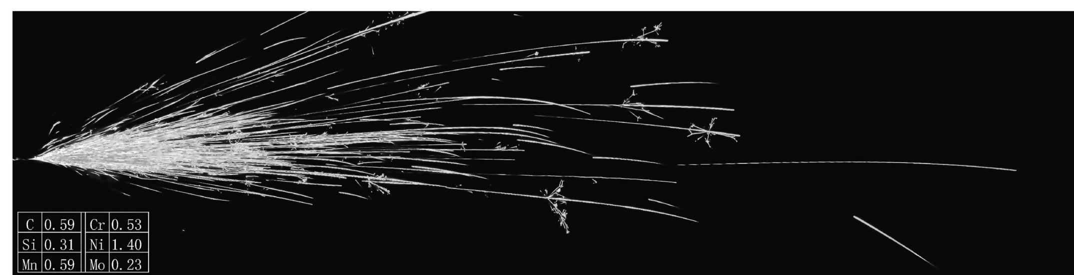
注：具有20钢的火花特点，但爆花更亮，分叉更长些。

图 D.6　20CrMnTi 钢火花参考图



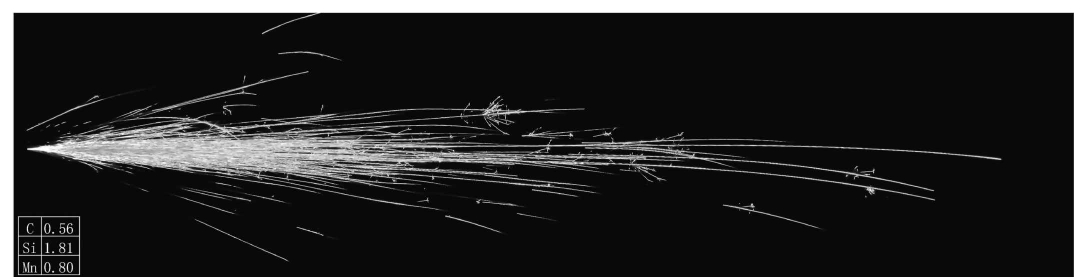
注：流线呈暗红色，爆花为多根分叉的一次花，部分爆花尖端有花粉，受Al影响，爆花量减少，并有箭头状尾花。

图 D.7　38CrMoAl 钢火花参考图



注：流线细，可见菊花状爆花(Cr)、膨胀节(Ni)及箭头状尾花(Mo)。

图 D.8　5CrNiMo 钢火花参考图



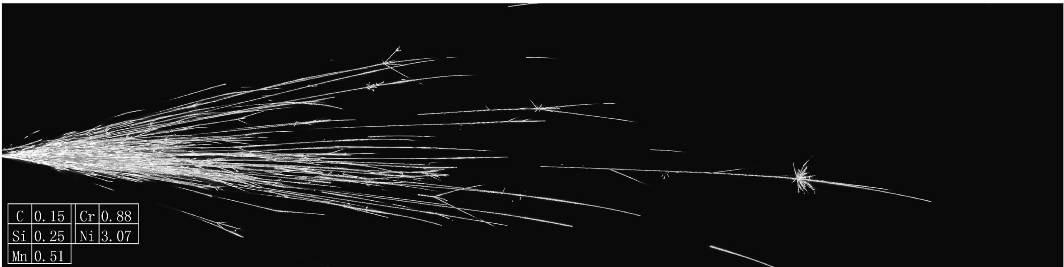
注：流线呈金黄色，有60钢的特征，但由于Si的抑制作用，爆花相对小，隐约可见Si的苍耳果实状特征花样。

图 D.9　60Si2Mn 钢火花参考图



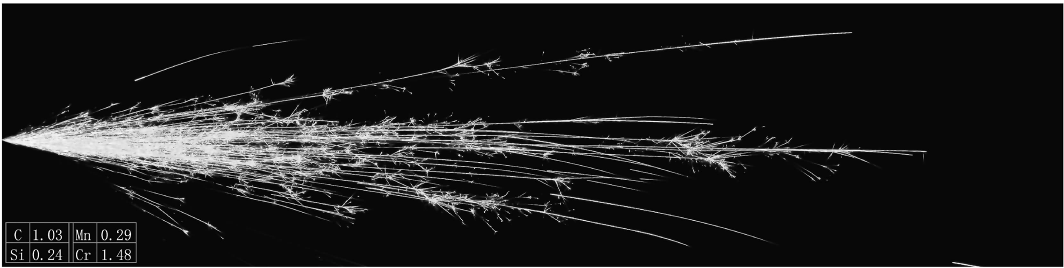
注：流线稍短、稀少，根部暗红，尾部明亮，尾端呈秃尾、狐尾状，部分流线呈断续状，无爆花。

图 D.10　3Cr2W8V 钢火花参考图



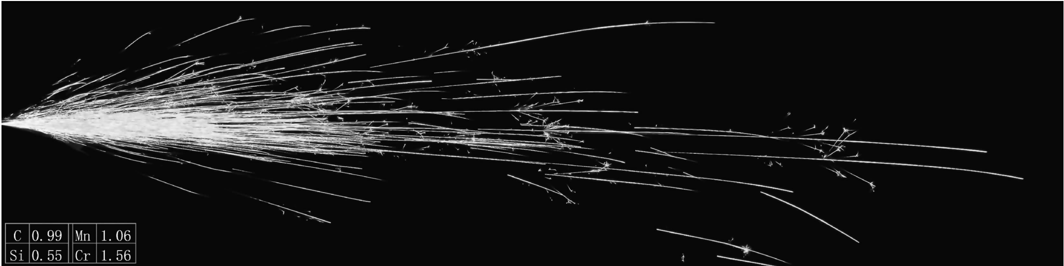
注：从花根至中部可见膨胀闪光的特征。

图 D. 11　12CrNi3A 钢火花参考图



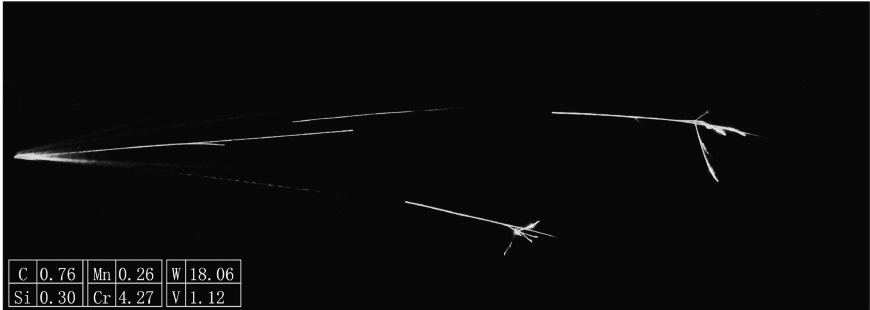
注：火花流线较细，爆花多、分叉多，中央及尾端都有花粉，根部爆花也较明显。

图 D. 12　GCr15 钢火花参考图



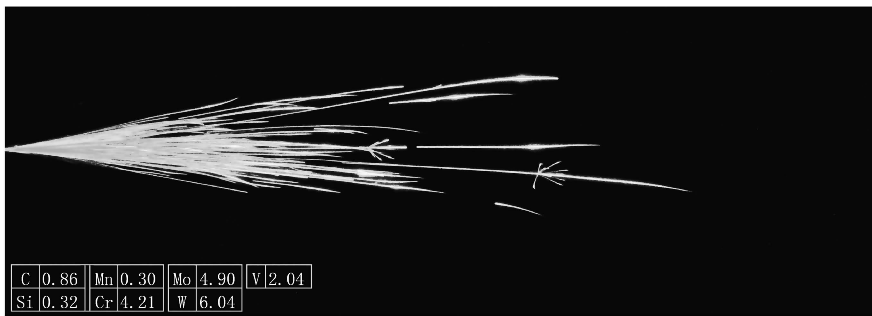
注：与GCr15相比，色泽偏红，花粉多，但爆花小些。

图 D. 13　GCr15SiMn 钢火花参考图



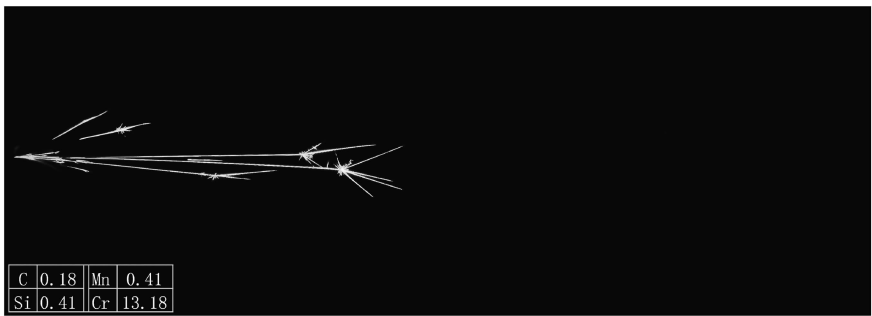
注：流线极暗，断续暗红色，尾部膨胀下垂，形成点状狐尾花(W特征)，无明显爆花。

图 D. 14　W18Cr4V 钢火花参考图



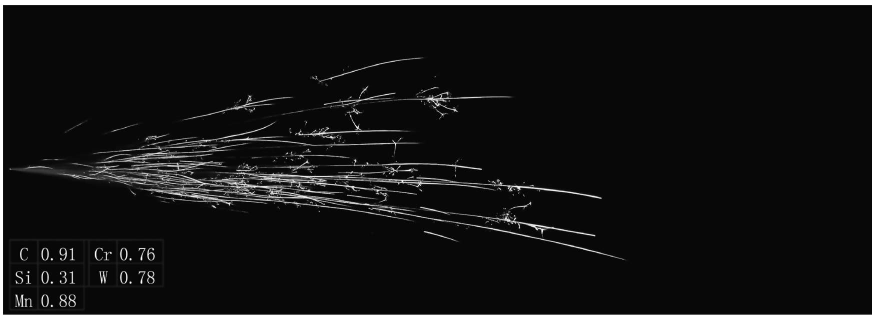
注：流线比W18Cr4V钢明显增多变粗且更亮，部分断续状，尾段有膨胀，有爆花。

图 D. 15　W6Mo5Cr4V2 钢火花参考图



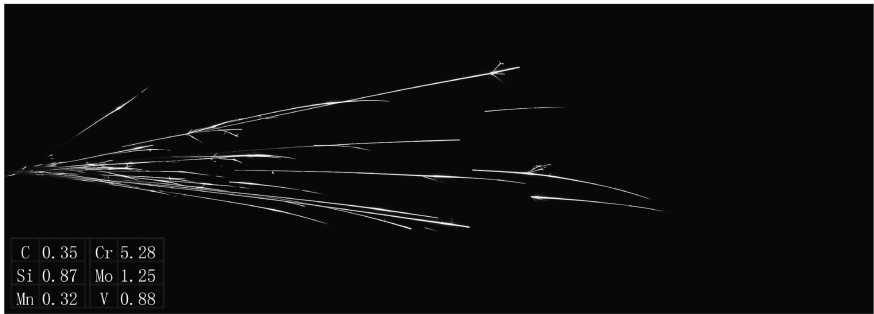
注：由于受高Cr影响，流线细、少、短，尾部相对明亮，出现较强烈爆花。

图 D. 16　20Cr13 钢火花参考图



注：流线细、短，根部呈暗红色，尾段较明亮，尾端秃状，爆花不大但多次分叉，有花粉。

图 D. 17　9CrWMn 钢火花参考图



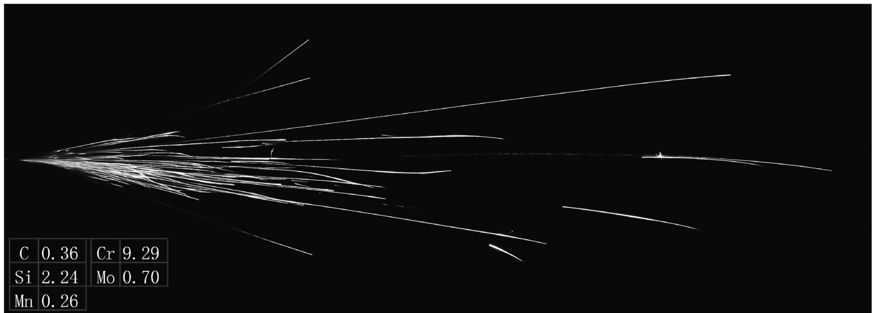
注：流线短，根部暗，在尾段膨胀，爆花不多且小，但亮，在中段分叉少，刺状，尾段偶有星状花。

图 D. 18　4Cr5MoSiV1（H13）钢火花参考图



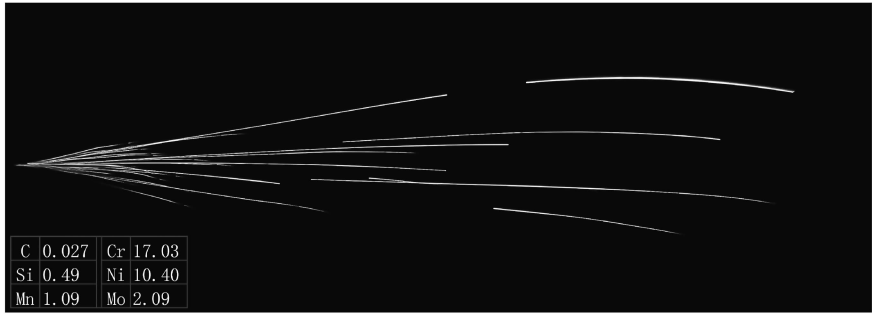
注：流线细而短，根部密集，尾段可见大量菊花状爆花。

图 D.19　Cr12MoV 钢火花参考图



注：流线呈暗红色，较短，部分断续状，无碳素爆花，中部及尾端流线有少量白色膨胀。

图 D.20　40Cr10Si2Mo 钢火花参考图



注：流线少，部分趋暗红，偶有断续，无爆花、毛刺，隐约可见因Ni的尾段膨胀。

图 D.21　06Cr17Ni12Mo2 钢火花参考图

附　录　E

（资料性附录）

本标准与 JIS G 0566 不同的火花图钢种对照

本标准与 JIS G 0566 不同的火花图钢种对照见表 E.1。

表 E.1　本标准与 JIS G 0566 不同的火花图钢种对照

类别	JIS G 0566 选用钢种牌号		本标准选用钢种牌号	
合金钢	SCr420（20Cr）	SCr440（40Cr）	20Cr	40Cr
	SCM420（20CrMo）	SCM440（42CrMo）	20CrMo	30CrMo
	SNC415	SNC631（30CrNi3）	42CrMo	12CrNi3A
	SNCM420（18CrNiMnMoA）	SNCM447	38CrMoAl	60Si2Mn
	SNCM645（38CrMoAl）	含 3.5% Ni 钢（35Ni 钢）	GCr15	GCr15SiMn
	SUP6（60Si2Mn）	SUP9（55CrMn）	9CrWMn	W18Cr4V
	SUJ2（GCr15）	SUJ3（GCr15SiMn）	5CrNiMo	
	SKS2	SKS3（9CrWMn）	Cr12MoV	
	SKS4	SKS43	20Cr13	
	SKH2（W18Cr4V）	SKH3（W18Cr4VCo5）	20CrMnTi	
	SKH4（W18Cr4V2Co8）	SKH9（W6Mo5Cr4V2）	40Cr10Si2Mo	
	SKD6（4Cr5MoSiV）	SKD11（Cr12MoV）	3Cr2W8V	
	SUH3（40Cr10Si2Mo）	SUH31（4Cr14Ni14W2Mo）	W6Mo5Cr4V2	
	SUS410（12Cr13）	SUS430（10Cr17）	4Cr5MoSiV1	
	SUS304（06Cr19Ni10）	SUS316（06Cr17Ni12Mo2）	06Cr17Ni12Mo2	
碳素钢	碳含量（质量分数）约 0.05% 钢	碳含量（质量分数）约 0.1% 钢	SPHC	45 钢
	碳含量（质量分数）约 0.2% 钢	碳含量（质量分数）约 0.3% 钢	08 钢	60 钢
	碳含量（质量分数）约 0.4% 钢	碳含量（质量分数）约 0.5% 钢	20 钢	80 钢
	碳含量（质量分数）约 0.6% ~0.8% 钢	碳含量（质量分数）约 0.9% ~1.2% 钢	T10	

注：括号内为对应的我国钢种牌号。

附　录　F
（资料性附录）
火花数码图制作推荐方法

F.1　数码相机选择

相机应具有手动调整焦距、感光值、快门速度、光圈值和连续拍摄的功能，像素数大于 1200 万。

F.2　拍摄环境

应符合本标准 7.1.2 的要求。

F.3　拍摄（记录）条件

F.3.1　取景时应至少能纳入 500mm 长的火花图像。

F.3.2　快门速度

要留下火花的轨迹，快门速度不宜过快，一般取 1/25 ~1/10s，相机宜固定位置。

F.3.3　光圈值

在保证正常曝光的前提下，尽量采用大数值光圈用以扩大景深，一般为 *f*/5.6 ~*f*/11。

F.3.4　感光度

ISO 400，对高合金钢火花宜提高至 ISO 800 ~ISO 1600。

F.3.5　焦距

必须人工测量至产生火花的距离来手动定焦。

F.4 图像处理

可采用常规图像处理软件对图片进行剪裁、调整等适当处理。

第九节 钢件渗碳淬火回火金相检验

一、概论

钢铁渗碳淬火是传统的、应用广泛的热处理工艺之一，但工艺技术包括对渗层组织的控制技术仍在不断发展之中，钢件经渗碳、淬火回火处理后的金相检验是必不可少的检测手段，长期以来各行业制定了相应的行业标准，其中有 QC/T 262—1999（2005）《汽车渗碳齿轮金相检验》、JB/T 6141.3—1992《重载齿轮 渗碳金相检验》、HB 5492—1991《航空钢制件渗碳、碳氮共渗金相组织检验标准》、TB/T 2254—1991《机车牵引用渗碳淬硬齿轮金相检验标准》等，大多为齿轮产品相关标准。各标准间有相同点，但更有较大差异。

为了反映我国在渗碳淬火工艺方面的技术进步，利于交流，便于操作，消除技术壁垒，制定了 GB/T 25744—2010《钢件渗碳淬火回火金相检验》。

1. 相关标准分析

（1）相关行业标准及主要技术内容 相关行业标准的检测项目及分级如表 4.9-1 所示。

表 4.9-1 相关行业标准的检测项目及分级

标准号	检测项目及分级				
	马氏体	残留奥氏体	碳化物	非马组织（内氧化）	心部
QC/T 262	8 级	8 级	8 级	≤0.02mm	（硬度）
JB/T 6141.3	6 级	6 级	6 级	—	6 级
HB 5492	6 级	6 级	9 级	—	8 级
TB/T 2254	6 级	6 级	8 级	4 级（脱碳 4 级）	8 级
JB/T 7710	针状 5 级	5 级	—	—	5 级
	板状 5 级	—			
QC/T 29018	8 级	8 级	7 级（碳氮化合物）	≤0.02mm（网≤0.04mm）	—

（2）各标准项目级别的差异

1）马氏体级别。各标准中马氏体级别的差异如表 4.9-2 所示。

表 4.9-2 各标准中马氏体级别的差异

标准号	马氏体级别及长度/mm							
	1	2	3	4	5	6	7	8
QC/T 262	<0.003	0.005	0.008	0.0125	0.0200	0.0300⊗	0.0600×	0.0880×
JB/T 6141.3	图	图	图	图	图⊗	图×	—	—
HB 5492	图	图	图	图	图×	图×	—	—
TB/T 2254	隐针	≤0.005	≤0.010	≤0.020	≤0.040×	>0.040×	—	—
JB/T 7710	针 <0.003	0.010	0.030	0.045	0.065	—	—	—
	板 0.0025	0.010	0.020	0.0325	0.0425			
QC/T 29018	<0.003	0.005	0.008	0.0130	0.020	0.030⊗	0.040×	0.055×

注：⊗为该级别可经双方协商，×为不合格级别。

2）残留奥氏体级别。各标准中残留奥氏体级别的差异如表 4. 9-3 所示。

表 4. 9-3　各标准中残留奥氏体级别的差异

标准号	残留奥氏体级别及含量（%）							
	1	2	3	4	5	6	7	8
QC/T 262	<5	10	18	23	30	37⊗	42×	50×
JB/T 6141. 3	5 ~8	15	30	30	40⊗	55×	—	—
HB 5492	图	图	图	图	图×	图×	—	—
TB/T 2254	≤5	≤10	≤20	≤30	≤50×	>50×	—	—
JB/T 7710	<3	8	25	37	40	—	—	—
QC/T 29018	<5	10	18	25	33	40⊗	47×	56×

注：⊗为该级别可经双方协商，×为不合格级别。

3）碳化物级别。大多数标准均以定性（半定量）方法按碳化物的颗粒（条块）大小、分布、聚集程度（趋网程度）依次分级，也有按定量划分的。各标准中碳化物级别的差异如表 4. 9-4 所示。

表 4. 9-4　各标准中碳化物级别的差异

标准号	碳化物级别及碳化物大小、分布								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
QC/T 262	无或极少量	颗粒状较少	小块状较多	小块状，个别细条，分布多、深	块状，个别断续网状分布⊗	大块状、连续网状分布×	大块状、连续网状分布×	粗大块状、连续网状分布×	—
JB/T 6141. 3	细粒状	细粒 + 呈网分布，细小或稍粗	细粒 + 断续网，小块或较粗	细粒 + 断续网，块状或较粗块⊗	细粒 + 网状，细条、块状或角状×	细粒球化物，大量粗大角块状×	—	—	—
HB 5492	无	极少量	少量	点状分布	点状，少量块、条、角均布	少量块、条、角状，断续网	断续网，条、角状⊗	细网×	半连续网、大块×
TB/T 2254	细小粒，粒径≤1μm	细小粒，粒径≤2μm	粗粒状，粒径≤3μm，投影长≤4μm	粗粒状，粒径≤3μm，投影长≤6μm	粗粒状，点网分布，粒厚≤3μm，投影长≤8μm	块状分布，粒厚≤6μm，投影长≤20μm×	块、网、条状分布，长度≤40μm×	粗厚网状分布×	—
QC/T 29018	无或少量点状	少量粒、块，弥散分布	较多粒块状，均匀分布	多量块，少量条状、角状，较均匀分布	条状及少量断续网状，较集中分布⊗	粗大条、块状，集中分布×	粗大网状×	—	—

注：⊗为该级别可经双方协商，×为不合格级别。

4）内氧化（或非马组织）及心部组织级别。各标准中内氧化（或非马组织）及心部组织级别的差异如表 4. 9-5 所示。

表 4. 9-5 各标准中内氧化（或非马组织）及心部组织级别的差异

标准号	内氧化（或非马组织）分级方法	心部组织分级方法
QC/T 262	测深度（<0. 02mm）	（硬度）
JB/T 6141. 3	—	分 6 级，分两类
HB 5492	—	分 8 级，按铁素体量，按图分级
TB/T 2254	4 级，按内氧化深度分 1 级：无；3 级：≤12μm	分 8 级，按板条马氏体长及铁素体量划分：1 级，马氏体条长 >30μm；5 级，铁素体≤6%；7 级：铁素体 >10%
JB/T 7710	—	分 5 级，铁素体量：无、10%、30%、50%、70%
QC/T 29018	测深度，分内氧化及托氏体（点、网）分别为≤0. 02mm 及网≤0. 04mm	（硬度）

2. 国外标准概况

国外对渗碳淬火后的“渗碳淬火硬化层深度的测定”十分关注，均有国家级的相关标准，并制定了国际标准。有关残留奥氏体的控制相对较严格，但含量的评定无国家级标准。在美国金属手册中，残留奥氏体含量分为 6 级，最低为 0%，最高为 45%，在 1000 倍下评定。而在 GAMA 标准中分为三个层次，即残留奥氏体含量分别为 5%、20% 和 30%，在 500 倍下评定。对组织形态评定规程仅出现在企业内部标准（而且大都无对照图片）。

二、标准应用说明

1. 适用范围

渗碳淬火工艺中一般按习惯渗层分为薄层、常规渗层、深层渗层三类，后两者具体界线较模糊，但对薄层的定义较统一：渗层深度<0. 3mm。由于薄层渗层组织有其相对的一些特异性，因此，本标准适用于钢铁材料渗碳淬火硬化层深度大于 0. 3mm 的工件，即常规渗层和深层渗层工件。

渗碳淬火工艺适用于各种钢铁工件，但齿轮类渗碳淬火件占据相对的多数，同时对齿轮的渗碳淬火后渗层组织的检验又有其特殊点，因此，本标准将制定附录 A 对齿轮类工件均有特殊的相关要求进行规定。

2. 试样要求

渗层金相试样有直接取自工件本体，但更多的是随炉试样。由于渗碳工艺与试样的形状、体积尺寸相关，随炉试样要能代表工件，必须对检测用试样有所规定。尤其是齿轮工件，在附录 A 中规定，选用的圆形试样，必须与齿的大小（模数）对应，本标准采用 GB/T 8539—2000《齿轮材料及热处理质量检验的一般规定》（等效采用 ISO 6365—5：1996）的推荐规范，并参考 AGMA 标准要求：最小直径为 6 倍模数，且最小直径≥16mm；最小长度为 2 倍试样直径。同时还采纳 TB/T 2254 规定的模拟齿厚试样，厚度等于 π/2 倍齿的模数，宽度和长度应为 2. 5 倍齿的模数。

试样的可比性还必须保证试样材料与工件材料为同种牌号、同一种预备热处理工艺；对严格要求的，还要求同一炉号的材料。

3. 检验项目设定

渗碳淬火后渗层组织的检验项目为：马氏体、残留奥氏体、碳化物、心部组织及表层内氧化层深度。

表层内氧化是渗碳处理工艺中会遇到缺陷，是一些重要件（如汽车齿轮）必须控制的项目，但大部分行业标准中无该检验项目。为正确反映渗碳淬火工艺质量，本标准吸纳该检验条目，并进行分级。

碳化物的形态、分布、数量对最终性能影响十分敏感，为能达到有效区分、评级的目的，本标准采用两个系列：以网状分布的碳化物和以粒状块状分布的碳化物。

4. 关于检测部位

钢件渗碳淬火回火后的渗层组织由表及里均有一个变化梯度，在具体服役条件下，近表层的组织控制自然更为重要。为适应各种工件各种渗层的一般技术要求，本标准规定的马氏体、残留奥氏体检测部位的区域（距表面深度）较宽。碳化物检测，不规定在尖角处而是“在近渗层表层区，或根据技术文件要求”。但在评定时，规定按最严重处评级，同时要考虑表面的磨削去除因素，这可保证对渗层组织的有效检测。

对于齿轮件，在附录 A 中另做具体规定。

5. 组织评定级别设定

关于组织的评定分级，现有各行业标准中分级方法不尽相同，级别数也不同，有的分 6 级，有的分 8 级，个别还有 9 级。本标准根据目前工艺水平，同时出于评定的简化，采用 6 级分类评定方法。所有级别均涵盖了各行业的合格要求，并综合参照了各行业的划分方法。马氏体级别、残留奥氏体级别及内氧化级别均采用量化方式划分级别，马氏体和残留奥氏体分别采用独立标准评级图。

马氏体评级分为 6 级，其标称值和应用范围如表 4. 9-6 所示。

表 4. 9-6　马氏体分级及含量

马氏体级别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
马氏体针长标称最大值/μm	≤3	5	8	13	20	30
应用范围（实际最长马氏体针）/μm	≤3	>3 ~5	>5 ~8	>8 ~13	>13 ~20	>20 ~30

残留奥氏体的作用及数量的适用性至今仍有争论。国际上，包括美国 AGMA923-B05 的齿轮标准一般定为≤30%，而美国大部分企业规定为≤20%，ISO 6336-5 规定渗碳淬火齿轮表层残留奥氏体量≤25%。我国各行业也基本控制残留奥氏体量≤30%（或≤33%），但 GB/T 8539 规定残留奥氏体量≤25%。为适应这些要求，把残留奥氏体的分级定为：≤5%、10%、18%、25%、30%、40%六级，如表 4. 9-7 所示。本标准残留奥氏体的相关图片均用 D8 Discover GADDS X 射仪测定残余奥氏体含量。

表 4. 9-7　残留奥氏体分级及含量

残留奥氏体级别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
残留奥氏体标称最大含量	≤5%	10%	18%	25%	30%	40%
应用范围（实际最大残留奥氏体含量）	≤5%	>5% ~10%	>10% ~18%	>18% ~25%	>25% ~30%	>30% ~40%

残留奥氏体的显示也一直争议较大，我们在试验时，分别配制了 3%、4%、5%的硝酸酒精溶液，对于正常浸蚀，选用 4%硝酸酒精溶液相对平稳，残留奥氏体的显示清晰。

心部组织评定大多数标准无定量要求，本标准参照大多数标准，定为 6 级，且不规定定量要求。通过定量测试，心部组织分级及铁素体含量如表 4. 9-8 所示。

表 4.9-8 心部组织分级及铁素体含量

心部组织级别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
铁素体含量	无	≤0.5%	>0.5% ~3%	>3% ~5%	>5% ~12%	≥25%
应用范围	无	≤0.5%	>0.5% ~3%	>3% ~5%	>5% ~12%	≥25%

6. 检验方法的规定

渗层的金相检验要规定区域，还要规定比较评级时的放大倍率。行业标准中有规定为 400 倍，也有 500 倍的。国际上采用 500 倍的多，大部分品牌显微镜把 400 倍作为选购件。本标准出于发展的考虑，规定为 500 倍视野下评定。残留奥氏体含量争议较多，本标准规定 500 倍视野下评级，1000 倍图片作为参考。

检验评级均在级别最严重处评定。一般情况下不采纳中间（半级）级别。

7. 规范性及资料性附录

将钢制齿轮渗碳淬火回火金相组织检验的试样、检验部位等特殊规定列入附录 A。

渗层金相组织评级图是本标准的主要内容。为满足标准的实用性、适用性，图片选用的大小为：9.0cm×6.5cm。图片由具体试样经筛选制得，列为附录 B ~ 附录 G，如表 4.9-9 所示。

表 4.9-9 附录性质及内容

附录	性质	内 容	附录	性质	内 容
B	规范性	马氏体级别图（×500）	E	规范性	碳化物级别图（×500）
C	规范性	残留奥氏体级别图（×500）	F	资料性	内氧化形貌（×500）
D	资料性	残留奥氏体级别图（×1000）	G	规范性	心部组织级别图（×500）

8. 其他

本标准的评级主要依据图谱与样品对照，对样品的金相制样要求较高，因此具体操作人员应经一定的培训，熟悉过程。（上海市机械制造工艺研究所有限公司陈德华供稿）

三、标准内容（GB/T 25744—2010）

钢件渗碳淬火回火金相检验

1 范围

本标准规定了钢件渗碳淬火回火金相组织的检验、金相组织级别及渗碳淬火有效硬化层深度的测定方法。

本标准适用于钢件渗碳淬火有效硬化层深度大于 0.3mm 的工件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232 金属热处理工艺 术语

GB/T 9450 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，

MOD）

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

3　术语和定义

GB/T 7232 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　心部组织　core structure

距表面 3 倍于渗碳淬火有效硬化层深度区域的组织。

4　试样

4.1　工件在有代表性服役区截取试样，或取相应大小的随炉试样。随炉试样的表面粗糙度应与工件相同。

4.2　试样材料应与工件同一牌号，具有相同的预处理状态；对于要求严格的工件，试样需与工件同一冶金炉号的材料。

4.3　检测面应垂直渗层表面。

4.4　对于特殊要求的试样，由供需双方协商确定。关于齿形试样的要求，参见附录 A。

5　检验项目及检验方法

5.1　检验项目及检验方法见表 1 所示。

表 1　检验项目及检验方法

检验项目	检验部位	制样条件	评定方法
马氏体	距渗层表面 0.05 ~ 0.15mm 之间区域①	浸蚀后	500 倍视野下，比较法评级
残留奥氏体	距渗层表面 0.05 ~ 0.15mm 之间区域①	浸蚀后	500 倍视野下，比较法评级
碳化物	近渗层表层区	深浸蚀后	500 倍视野下，比较法评级
表层内氧化层深度	渗层表层	未浸蚀	500 倍视野下，根据内氧化层深度评级
心部组织	试样心部	浸蚀后	500 倍视野下，比较法评级
有效硬化层深度	按 GB/T 9450 规定执行		

注：齿形试样的检验部位规定参见附录 A。

①　应考虑热处理后表面磨削去除因素。

5.2　金相检验试样按 GB/T 13298 制样，浸蚀剂均采用 4% 硝酸乙醇溶液。

5.3　金相组织的检验、评定，应在级别最高处评定。若超出最高级别，可用大于 6 级表示。

5.4　金相组织评定不采纳中间（半级）级别。

6　金相组织级别评定

6.1　马氏体的级别

根据马氏体针体的大小评定级别，对照附录 B 中图 B.1 系列级别图片进行评定，评级说明见表 2。

表 2　马氏体的级别评定

图 B.1 所列级别	特征说明	图 B.1 所列级别	特征说明
1 级	隐针及细针马氏体，马氏体针长≤3μm	4 级	针状马氏体，马氏体针长 >8 ~ 13μm
2 级	细针马氏体，马氏体针长 >3 ~ 5μm	5 级	针状马氏体，马氏体针长 >13 ~ 20μm
3 级	细针马氏体，马氏体针长 >5 ~ 8μm	6 级	粗针马氏体，马氏体针长 >20 ~ 30μm

6.2　残留奥氏体的级别

根据残留奥氏体含量的多少评定级别，对照附录 C 中图 C.1 系列级别图片进行评定，或参考附录 D 中图 D.1 系列级别图片评定，评级说明见表 3。

表 3 残留奥氏体的级别评定

图 C. 1 及图 D. 1 所列级别	特征说明	图 C. 1 及图 D. 1 所列级别	特征说明
1 级	残留奥氏体含量≤5%	4 级	残留奥氏体含量 >18% ~25%
2 级	残留奥氏体含量 >5% ~10%	5 级	残留奥氏体含量 >25% ~30%
3 级	残留奥氏体含量 >10% ~18%	6 级	残留奥氏体含量 >30% ~40%

6. 3 碳化物的级别

根据碳化物形态、数量、大小及分布情况评定级别，对照附录 E 中图 E. 1 系列级别图片进行评定，评级说明见表 4。

表 4 碳化物的级别评定

图 E. 1 所列级别	特 征 说 明	
	网系	粒块系
1 级	无或极少量细颗粒状碳化物	
2 级	细颗粒状碳化物加趋网状分布的细小碳化物	细颗粒状碳化物加稍粗的粒状碳化物
3 级	细颗粒状碳化物加呈断续网状分布的小块状碳化物	细颗粒状碳化物加较粗的碳化物
4 级	细颗粒状碳化物加呈断续网状分布的块状碳化物	细颗粒状碳化物加粗块状碳化物
5 级	细颗粒状碳化物加网状分布的细条状、块状碳化物	细颗粒状碳化物加角块状碳化物
6 级	颗粒状碳化物加网状分布的条块状碳化物	颗粒状碳化物加大量粗大角块状碳化物

6. 4 表层内氧化层深度的级别

在显微镜下，根据渗层表层内氧化的最深处深度进行评定，评级说明见表 5。

表 5 内氧化层的级别评定

级 别	特 征 说 明
1 级	表层未见沿晶界分布的灰色氧化物，无内氧化层
2 级	表层可见沿晶界分布的灰色氧化物，内氧化层深度≤6μm
3 级	表层可见沿晶界分布的灰色氧化物，内氧化层深度 >6 ~12μm
4 级	表层可见沿晶界分布的灰色氧化物，内氧化层深度 >12 ~20μm
5 级	表层可见沿晶界分布的灰色氧化物，内氧化层深度 >20 ~30μm
6 级	表层可见沿晶界分布的灰色氧化物，内氧化层深度 >30μm，最深处深度用具体数字表示

注：内氧化形貌参见附录 F 所示。

6. 5 心部组织的级别

根据心部组织形貌及铁素体的大小、形状和数量评定级别，对照附录 G 中图 G. 1 系列级别图片进行评定，评级说明见表 6。

表 6 心部组织的级别评定

图 G. 1 所列级别	特 征 说 明
1 级	低碳马氏体，允许有贝氏体
2 级	低碳马氏体加不明显的游离铁素体，允许有贝氏体
3 级	低碳马氏体加少量游离铁素体，允许有贝氏体
4 级	低碳马氏体加较多量游离铁素体，允许有贝氏体
5 级	低碳马氏体加多量游离铁素体，允许有贝氏体
6 级	低碳马氏体加大量游离铁素体，允许有贝氏体

7　检验用仪器

7.1　维氏硬度计及标准块应经检定合格，并在检定周期内使用。

7.2　金相显微镜或相关测微标尺应经检定合格，并在检定周期内使用。

8　检验报告

检验报告一般应包括下列内容：

a）本标准编号；

b）试样（产品）名称；

c）试样标识；

d）试样材料牌号及工艺；

e）若非随炉试样，则说明取样位置及试面方向；

f）检验结果及特殊说明；

g）检验及复核人员签名、检验日期。

附　录　A

（资料性附录）

钢制齿轮渗碳淬火回火金相组织检验的一般规定

A.1　试样

A.1.1　齿形工件截取至少一个完整齿形，也可使用圆柱试样或模拟齿厚试样。圆柱试样尺寸：最小直径为6倍模数，但不小于16mm；最小长度为试样直径的2倍。经用户同意也可采用小型试样：最小直径为3倍模数；最小长度为试样直径的2倍。模拟齿厚试样的厚度应等于1.57倍齿的模数，其宽度与长度应为2.5倍齿的模数。

A.1.2　齿形试样的检测面应在齿的法向截面。

A.1.3　除上述说明外，其他均按本标准正文第4章执行。

A.2　检验项目及检验方法

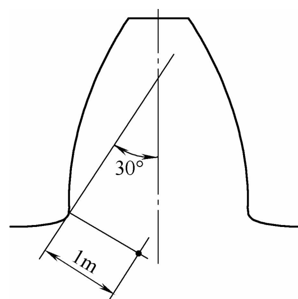
A.2.1　齿轮的有效硬化层深度测定部位一般在齿宽中部法向截面上，在分度圆处沿垂直齿面方向，或按具体工艺文件规定。

A.2.2　马氏体、残留奥氏体检验部位均在齿分度圆处距渗层表面0.05～0.15mm之间。

A.2.3　碳化物检验部位在渗层尖角（齿角）处，或根据工艺要求。

A.2.4　表层内氧化层深度检验部位在齿轮的齿根表层。

A.2.5　心部组织检验在齿宽的中心线与齿根圆相交处。对于大型齿轮推荐检验部位见图A.1。



图A.1　大型齿轮心部组织检验位置示意

A.2.6　除上述说明外，其他均按本标准正文第5章执行。

A.3　除上述两项规定外，其他均按本标准正文执行。

附　录　B

（规范性附录）

马氏体级别图

马氏体级别图（×500）见图B.1。

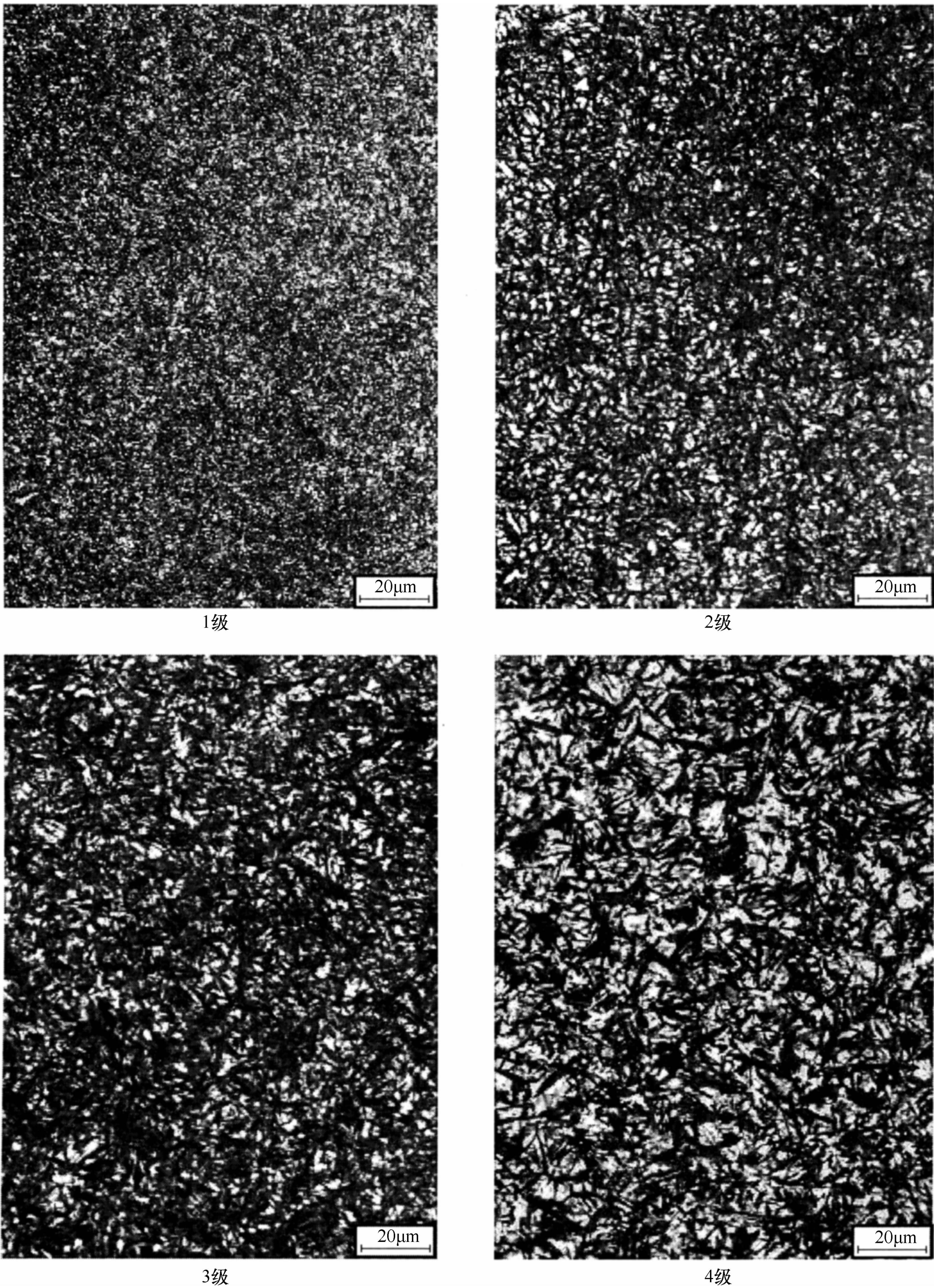


图 B. 1　马氏体级别图（×500）

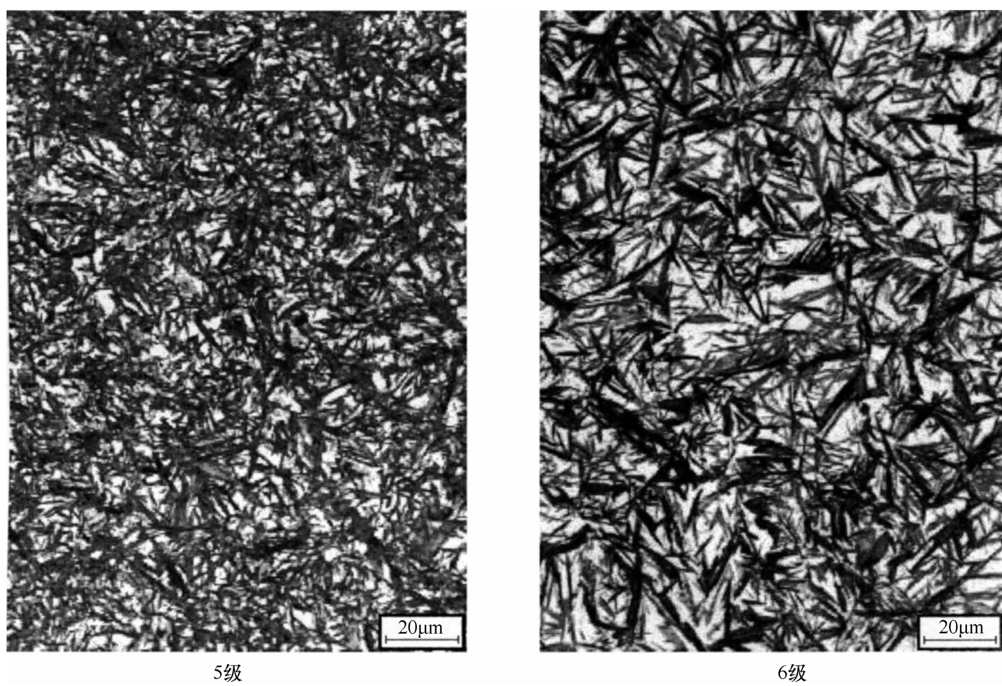


图 B.1　马氏体级别图（×500）（续）

附　录　C
（规范性附录）
残留奥氏体级别图（×500）

残留奥氏体级别图（×500）见图 C.1。

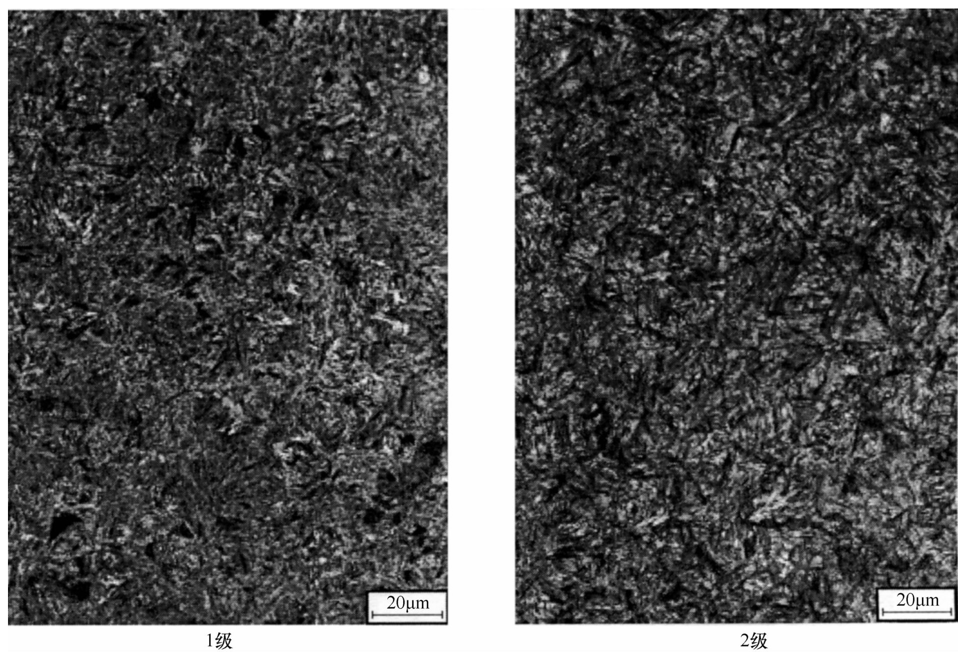
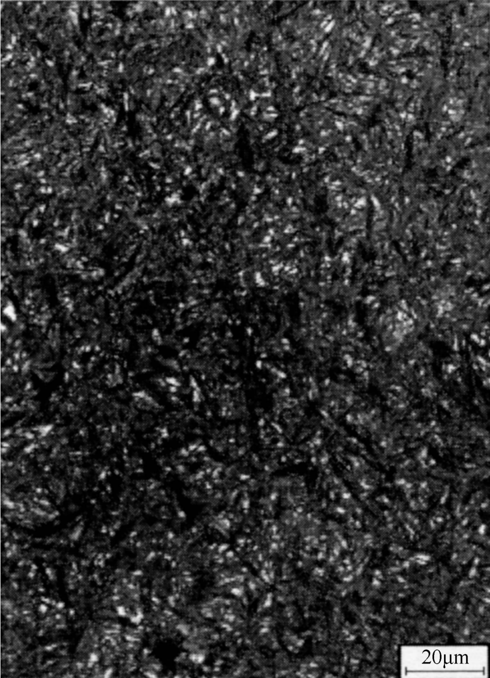


图 C.1　残留奥氏体级别图（×500）



3级



4级



5级



6级

图 C.1 残留奥氏体级别图（×500）（续）

附　录　D

（资料性附录）

残留奥氏体级别图（×1000）

残留奥氏体级别图（×1000）见图 D. 1。

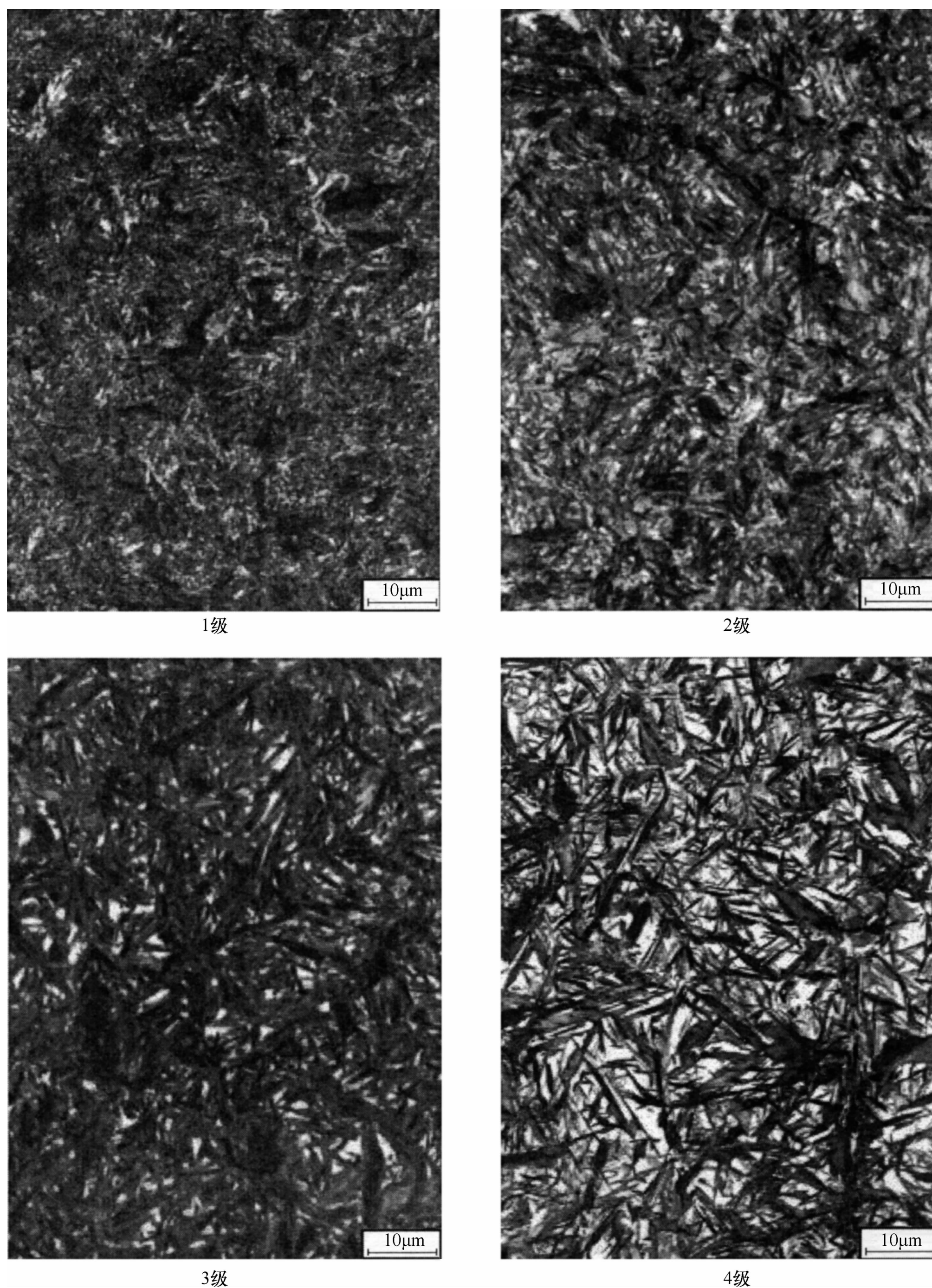
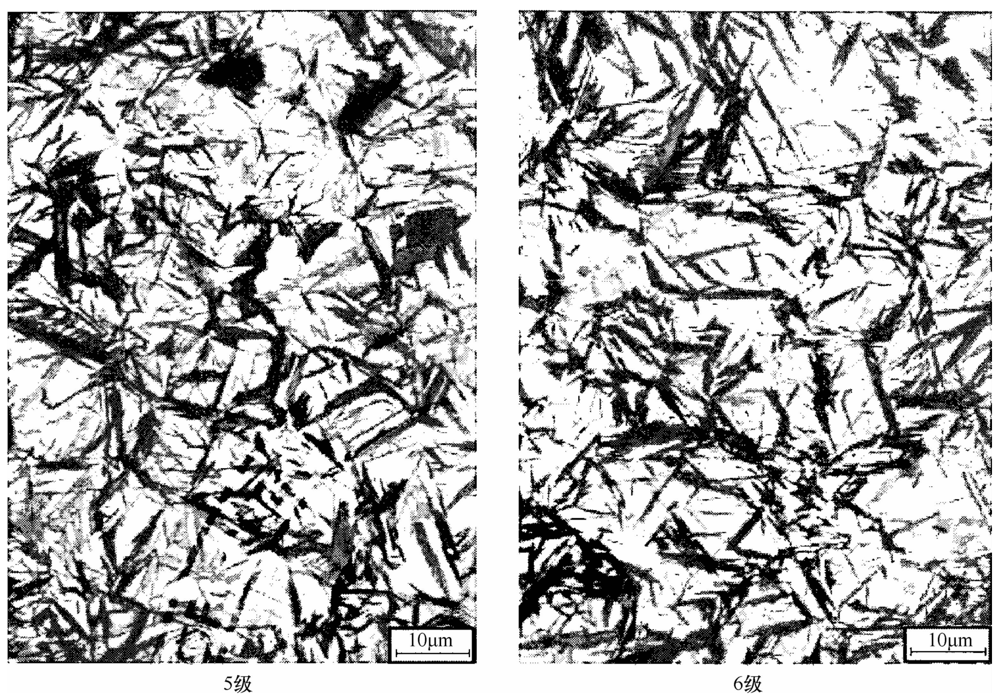


图 D. 1　残留奥氏体级别图（×1000）

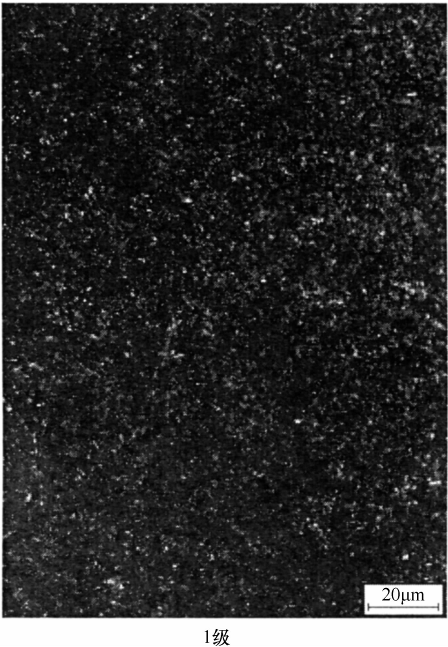


5级　　6级

图 D.1　残留奥氏体级别图（×1000）（续）

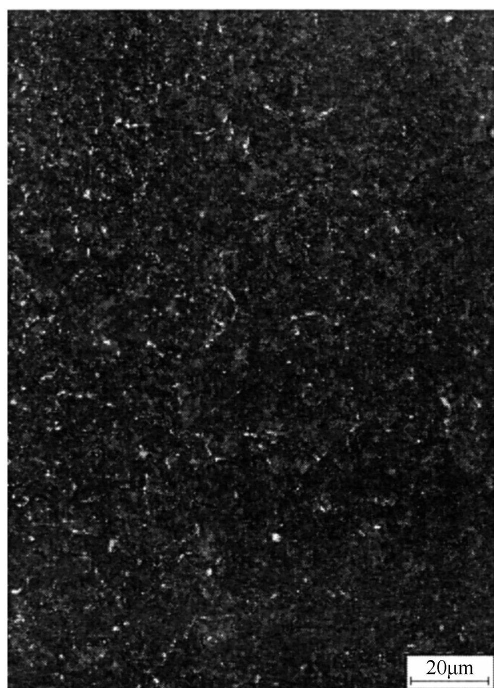
附　录　E
（规范性附录）
碳化物级别图

网状及粒块状分布的碳化物级别图（×500）见图 E.1。

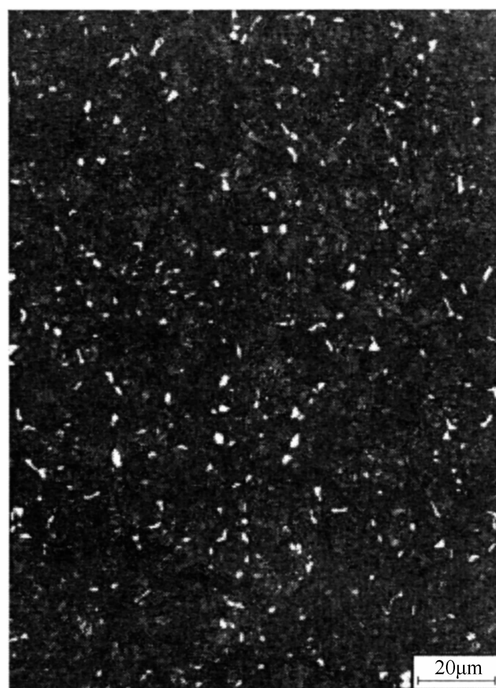


1级

图 E.1　网状及粒块状分布的碳化物级别图（×500）



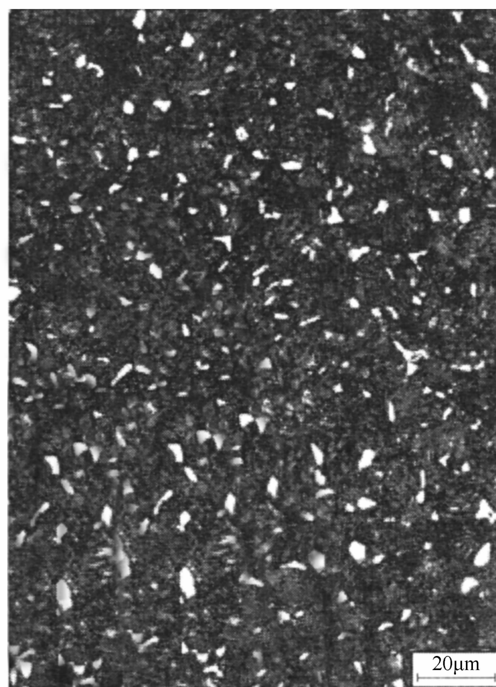
2级(网系)



2级(粒块系)

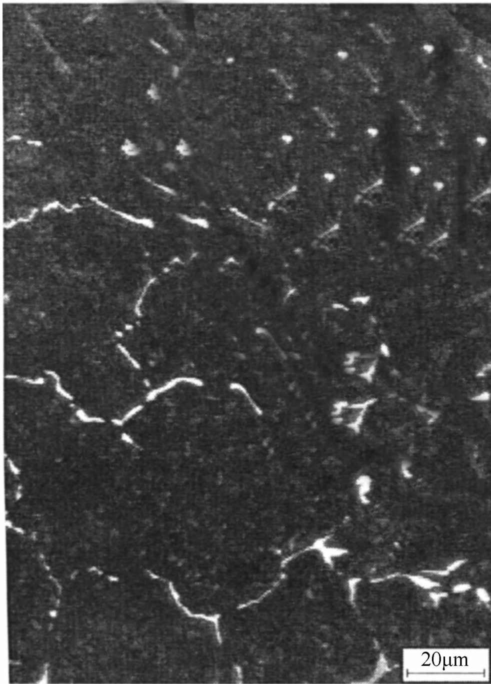


3级(网系)

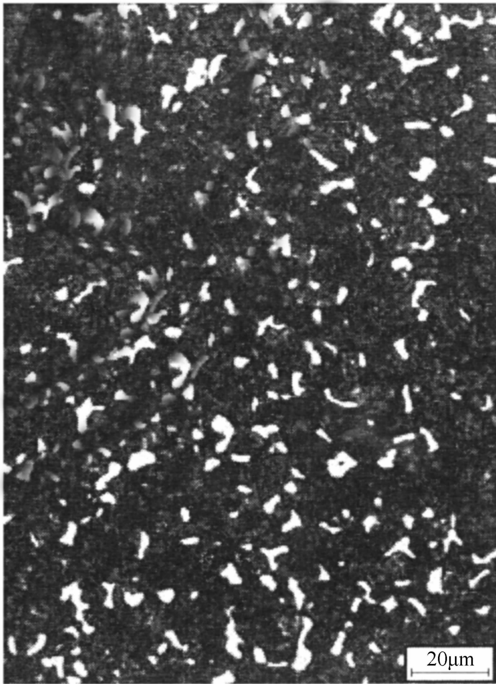


3级(粒块系)

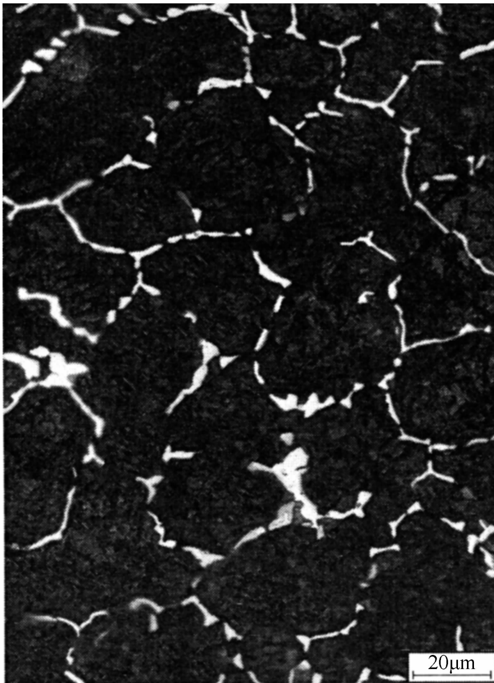
图 E.1　网状及粒块状分布的碳化物级别图（×500）（续一）



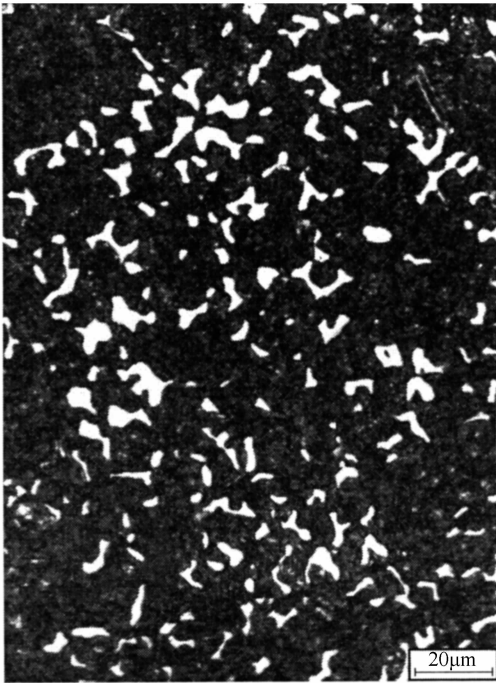
4级(网系)



4级(粒块系)



5级(网系)



5级(粒块系)

图 E.1　网状及粒块状分布的碳化物级别图（×500）（续二）

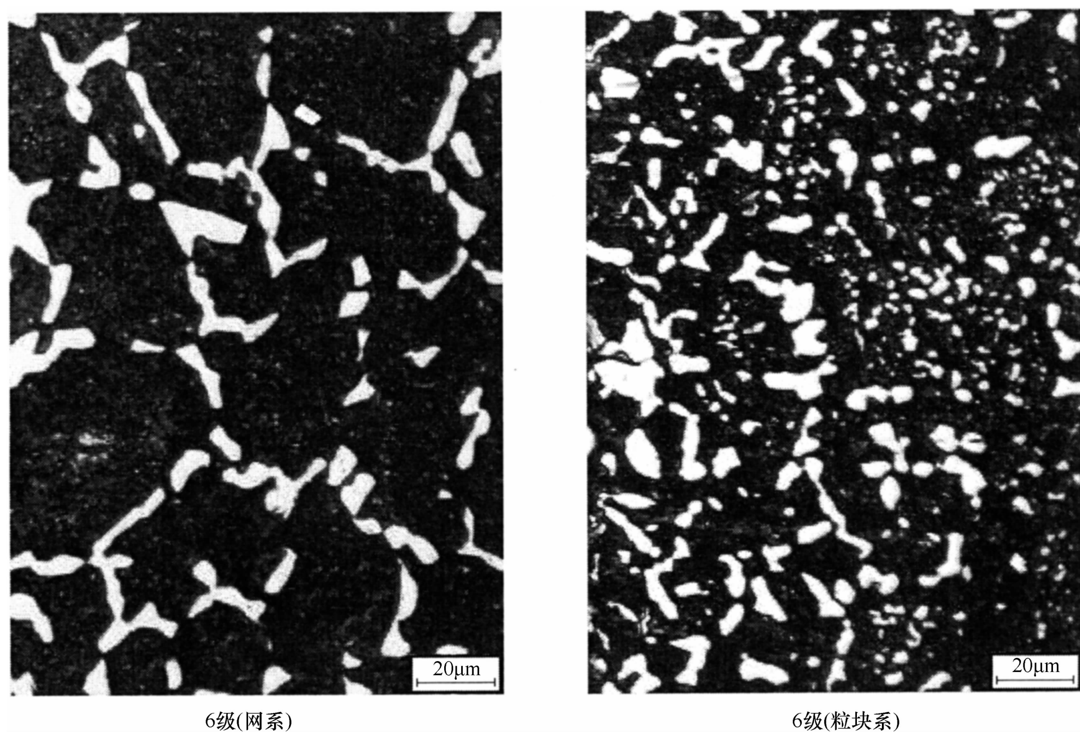


图 E. 1　网状及粒块状分布的碳化物级别图（×500）（续三）

附　录　F
（资料性附录）
内氧化形貌

内氧化形貌（×500）见图 F. 1。

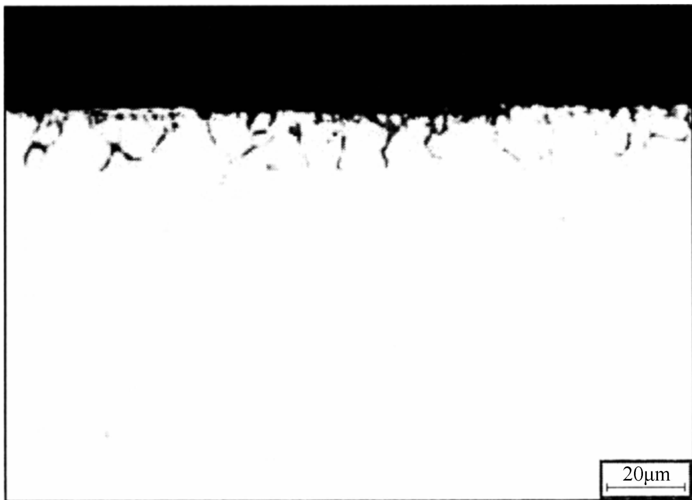


图 F. 1　内氧化形貌（×500）

附　录　G

（规范性附录）

心部组织级别图

心部组织级别图（×500）见图 G.1。

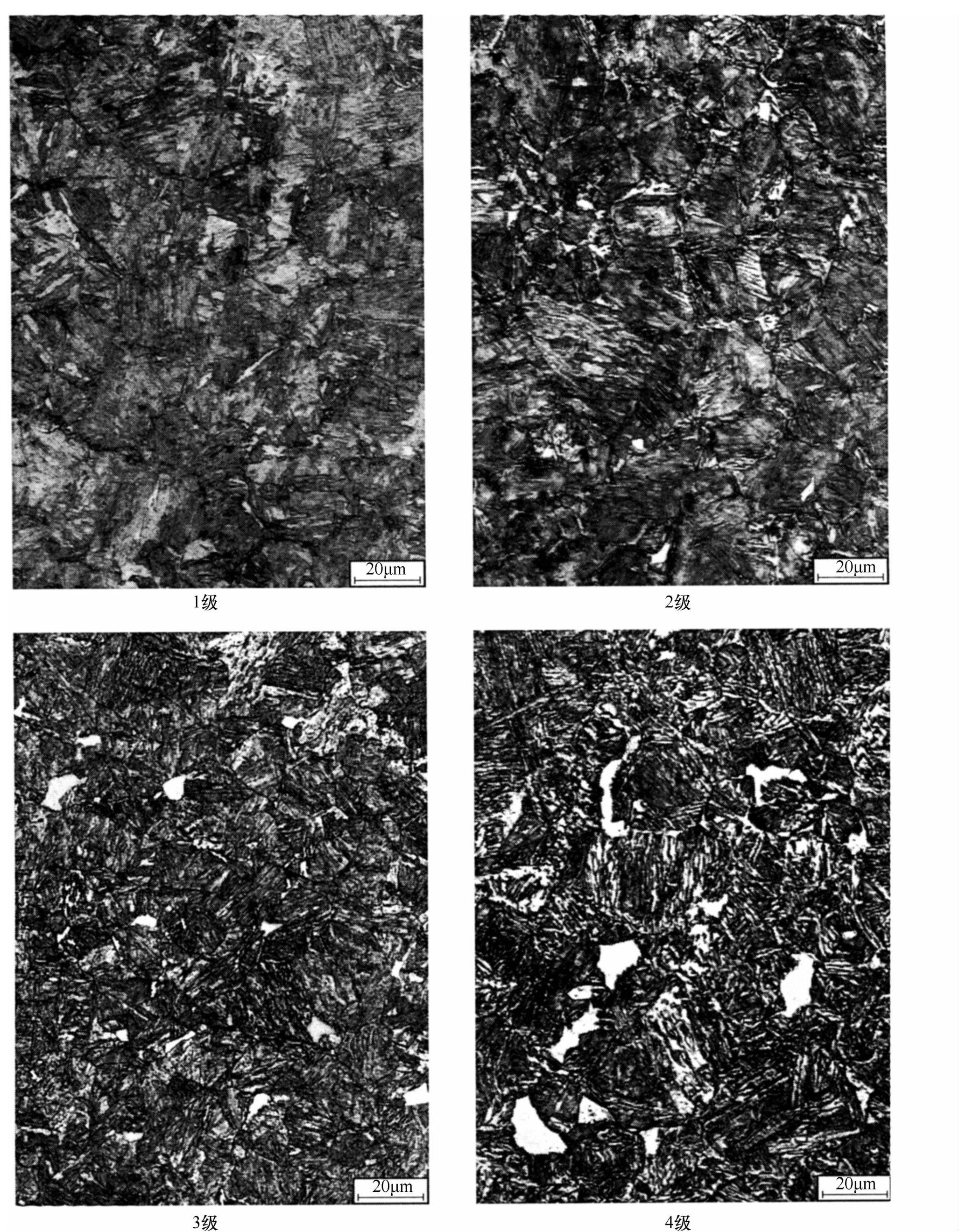


图 G.1　心部组织级别图（×500）

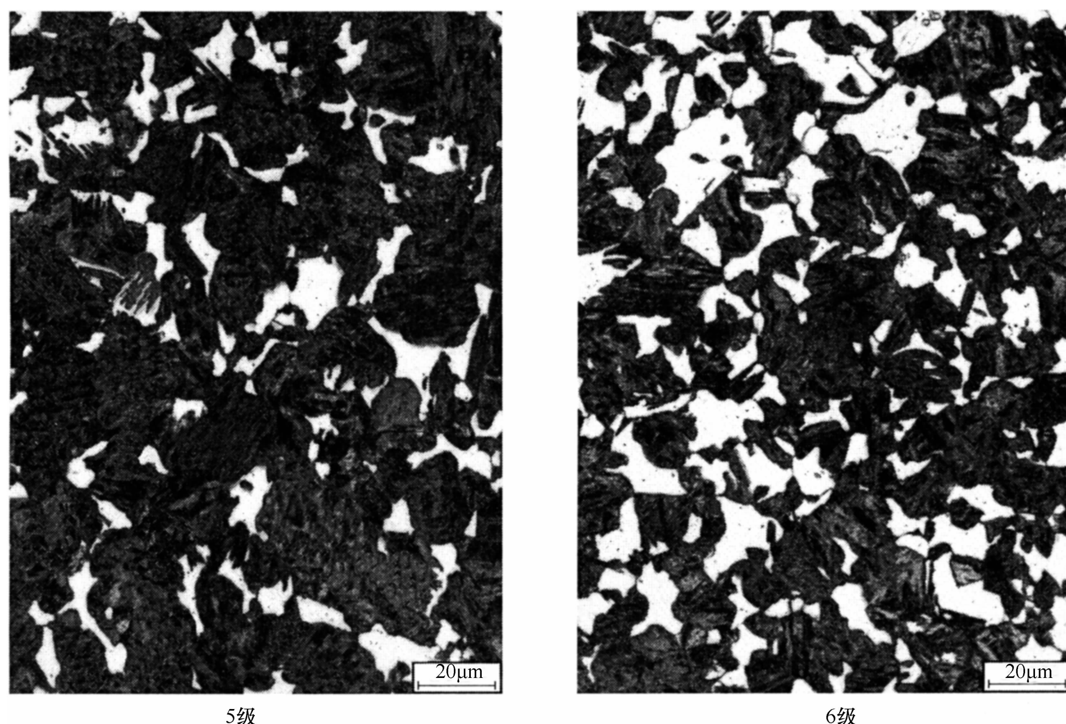


图 G.1　心部组织级别图（×500）（续）

第十节　钢件感应淬火金相检验

一、概论

在我国工业飞速发展过程中，高、中频感应淬火工艺在机械行业中已经获得广泛的应用。汽车、拖拉机、内燃机等机械制造业中的曲轴、凸轮轴、花键轴及销等零件均采用感应淬火工艺。此外，一些汽车上的重要零件，如转向节、半轴、球头销也由原来的调质处理和渗碳处理逐渐改用感应淬火工艺处理。

由于高、中频感应加热速度快，时间短，加热温度难于控制，通常采用金相检验及硬度检验，对产品质量进行控制。为此目的，在第一汽车制造厂原企标的基础上，几经修订编制了原机械部的部颁标准 JB 2641—1979。于 1985 年在参考国内外有关标准的基础上，重新修订成专业标准 ZB J36 009—1988。在 20 世纪 90 年代末期，又重新修订成机械行业标准 JB/T 9204—1999。进入 21 世纪，由于汽车、工程机械、内燃机行业快速发展的需要，2008 年对本标准再次进行了修订，标准编号为 JB/T 9204—2008。

二、标准应用说明

1. 组织分级原则

本标准规定了马氏体针大小的十级图片。其中一、二级图片为粗大马氏体组织，是感应加热时温度过高引起的，是不合格组织。三级为中等马氏体组织，说明是淬火温度偏高的结果，该级组织

可勉强合格，但不是理想的组织。四级、五级为细马氏体，是感应淬火的正常组织。六级是细微马氏体，是感应淬火最理想的组织，通常在原始组织为索氏体时才能获得。感应淬火最理想的组织是四～六级。七级是含碳量不均匀的组织，是由于加热不足或时间不足所造成，铁素体未能充分地溶解于奥氏体，奥氏体含碳量呈不均匀分布，此类组织虽然允许，但也需要进一步调整。八级的铁素体未完全溶解，组织严重不均匀，尚存在少量托氏体网络。九级和十级有多量未溶解铁素体和网络状托氏体，都是因加热不足所造成，对于硬度要求在55HRC以上的零件，这是不允许存在的组织。

为了精确的标出十级图片中马氏体针状大小对应的晶粒度及铁素体的含量，我们用图像分析仪对各图片进行实际测量。

测量方法是用饱和的苦味酸腐蚀试样，直至显示出晶粒度边界。然后用图像分析仪测定晶粒平均面积、平均直径和铁素体的含量。

从晶粒的平均面积得出对应的晶粒度。由于马氏体针大小和晶粒度有对应关系，可从平均直径得出马氏体针的平均长度。测量结果见表4.10-1。

表4.10-1 不同级别马氏体的晶粒平均面积和对应的晶粒度

级　别	晶粒平均面积 /mm^2	对应的晶粒度 /级	晶粒平均直径 /mm
1	0.06	1	0.25
2	0.015	3	0.12
3	0.001	6～7	0.026
4	0.00026	8～9	0.016
5	0.00013	9～10	0.012
6	0.0001	10	0.009
7			
8			
9			
10			

2. 感应淬火后硬化层深度测量方法

以前的标准中曾规定用金相法测量硬化层深度，由表面起测至50%马氏体处。如果50%马氏体处铁素体含量大于20%，则测至20%铁素体处。这种方法在实际生产中已长期应用。但是由于中碳钢在感应淬火前一般采用正火处理，组织为珠光体及铁素体。而中碳合金钢在感应淬火前采用调质处理，组织为索氏体。两种原始组织不同，经感应淬火后，奥氏体的均匀程度亦有所不同。原始组织为珠光体及铁素体的，经感应加热后过渡区域往往比较厚，50%的马氏体界限比较难以准确测出。而预先调质处理的索氏体组织，感应淬火后过渡区又往往比较薄。总之，采用金相法测定感应淬火硬化层深度误差往往较大，而采用硬度法测定硬化层深度可以直接读出硬度值，结果比较精确，而且可以换算出强度值。

ISO 3754：1976《钢的火焰淬火和感应淬火的有效硬化层深度的测定》中规定，有效硬化层深度是指从零件表面到维氏硬度值HV（9.8N试验力）等于规定的界限值的距离。界限硬度值是指零件要求的表面硬度下限值的函数，由下式确定

$$界限硬度值（HV）=0.8\times表面硬度下限（HV）$$

JIS G 0559《钢的火焰淬火及感应淬火硬化层深度测定方法》及SAE J 423a《硬化层深度测定

方法》，均规定了用硬度法测定有效硬化层深度。在 JIS G 0559 中，还规定了不同碳含量钢材有效硬化层的界限硬度值，见表 4. 10-2。

表 4. 10-2　不同含碳量钢材有效硬化层的界限硬度值

钢的碳含量（质量分数,%）	界限硬度值　HV	相当于洛氏硬度　HRC
0. 23 ~ <0. 33	350	36
0. 33 ~ <0. 43	400	41
0. 43 ~ <0. 53	450	45
≥0. 53	500	49

为了验证金相法与硬度法二者的差异，选取了 45 钢及 40Cr 钢，经感应淬火后做对比试验。试样共 20 件，要求的表面硬度下限值为 58HRC。参照 JIS G 0559，相当于有效硬化层深度的界限硬度值应为 46. 4HRC，测定结果，硬化层深度为 3. 3mm，两者是一致的，见图 4. 10-1。

3. 检验方法及顺序

通常应按下列步骤检验：

（1）在生产线上按规定抽取一定的具有代表性的试样进行检查。

（2）在零件的硬化区域内部和边部要多测几点，了解零件的硬度是否符合图样规定，有无软点，硬化区域是否符合图样要求。

（3）在工艺调整、废品分析时，应测定零件硬化层的硬度分布曲线。正常的硬度分布曲线应当是缓慢而均匀地变化，硬化层的硬度和层深应符合技术条件规定，见图 4. 10-2。如果硬化层过渡区较厚，说明加热时间过长（见图 4. 10-3）。如果表面层硬度低于技术条件要求，而硬度急剧下降，硬化层较薄（见图 4. 10-4），说明加热温度不足。

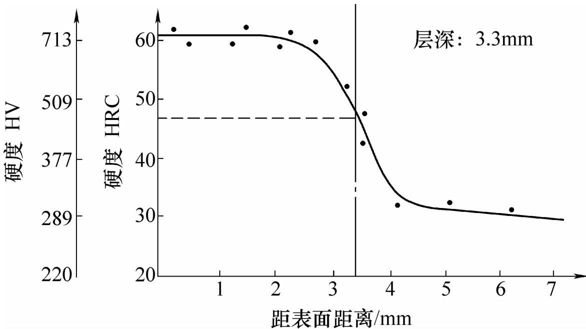


图 4. 10-1　45、40Cr 钢硬化层曲线

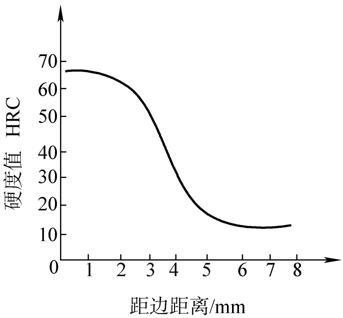


图 4. 10-2　正常的硬度分布曲线

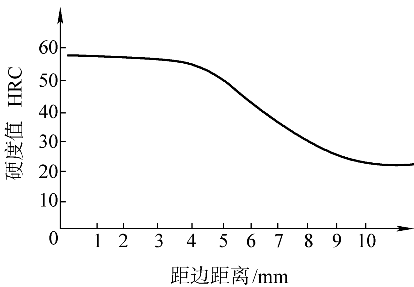


图 4. 10-3　加热时间较长的硬度曲线

（4）必要时，要用磁力探伤仪检查零件是否有淬火裂纹。

（5）进行金相检查时，用薄片砂轮切割机，在零件淬硬区域长度 1/3～1/2 处横向截取，见图 4.10-5。特殊零件可按技术条件规定进行。试样切割要十分注意，不能受热使组织发生变化。

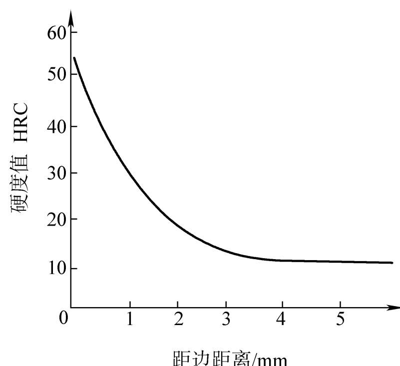


图 4.10-4　加热温度不足的硬度曲线

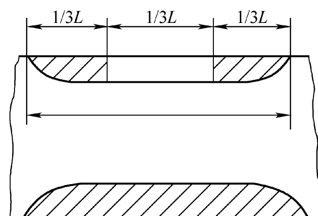


图 4.10-5　在硬化区间 1/3L 的取样部位

（6）用硬度法测定硬化层深度的试样，表面需经抛光，被测表面应与硬度计载物台面平行，硬度压印在宽度为 1.5mm 的带内，沿着一条或数条垂直于表面的线上测定硬度。测定点间的距离原则上应不大于 0.1mm（见图 4.10-6 中 d_4-d_3，d_3-d_2，d_2-d_1）。各压痕间的距离包括邻近表面的第一个压痕表面的距离，应大于压痕对角线长度的 2.5 倍。

（7）在金相显微镜下，放大 400 倍观察硬化层表面的金相组织。

（8）必要时将零件的纵横两个剖面进行冷蚀，观察硬化层区域的分布情况。

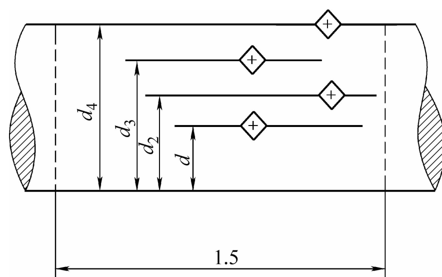


图 4.10-6　硬度压痕的位置

4. 工艺调整

（1）影响感应淬火零件质量的几个因素

1）化学成分的影响。常用的感应淬火零件材料为 45 钢和 40Cr 钢。对这两种材料来说，影响感应淬火质量的主要成分是碳。碳含量是决定感应淬火后的硬度高低和能否淬裂的主要因素。

当钢中 w（C）低于 0.4% 时，感应淬火后硬度低于 55HRC。当 w（C）超过 0.5% 时，感应淬火后的硬度就高于 55HRC，将可能产生淬火裂纹。为了保证零件淬火后的质量，往往需要把钢中的碳含量严格控制在比较窄的范围内。

2）原材料脱碳层。汽车上的感应淬火件原材料一般经冷拔或锻造处理，淬火前经磨削加工，淬火后也经磨削加工处理。磨削量小，原材料的脱碳层未被磨削掉，就使淬火后的零件表面硬度低或局部形成软点，影响零件的强度与耐磨性。因此要严格控制原材料的脱碳层。

3）原始组织的影响。由于感应淬火加热速度快，保温时间短，使得奥氏体内的碳化物不易均匀化。感应淬火前的组织为大块状铁素体或粗片状珠光本时，不易溶解，经淬火后得不到碳含量均匀的马氏体组织。因此要求原始组织最好是经调质处理的索氏体组织。在这种情况下，感应加热时，奥氏体开始转变温度较低，而粗大片状珠光体和铁素体组织转变温度较高。

由此可以推论，预先经过调质处理的零件感应加热时，在较低的温度可以获得均匀的奥氏体组织，因此淬火后得到比较细的马氏体。只经过正火且组织为珠光体和铁素体的零件，在感应加热

时，由于开始转变为奥氏体的温度较高，因此要获得均匀的奥氏体组织，必须提高加热温度。这样淬火后得到的马氏体就比较粗大。对于先经正火或调质处理的试样，经正常规范感应淬火后测得的淬硬层硬度分布及弯曲试验结果见图 4. 10-7。由图 4. 10-7 可见，调质件比正火件获得的硬化层较深，正火试样过渡区域硬度稍有波动，表面有脱碳的试样，表面硬度低，并且淬透性较低。

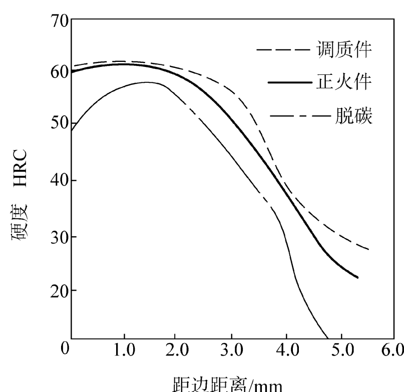


图 4. 10-7　不同预备热处理对感应淬火后硬化层深度分布的影响

（2）工艺参数的调整。在调整工艺时应注意下列几个重要参数；感应器的位置；感应加热时功率因数；感应淬火时间；感应淬火冷却系统。

通过工艺调整，可以使产品质量稳定，获得优良的产品。但也应注意，如果工艺调整不当，则将会出现大量的废品。（北京机电研究所武兵书供稿）

三、标准内容（JB/T 9204—2008）

钢件感应淬火金相检验

1　范围

本标准规定了钢件感应淬火金相检验的技术要求及相应的检验方法。

本标准适用于中碳碳素结构钢和中碳合金钢制造的机械零件，经高、中颇感应淬火后金相组织及有效硬化层深度的检验。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准

GB/T 5617 钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定（GB/T 5617—2005，ISO 3754：1976，NEQ）

3　技术要求

3. 1　零件表面硬度及有效硬化层深度应符合产品图样的规定。

3. 2　零件淬火后，表面不应有裂纹、灼伤等缺陷。

3. 3　零件经淬火、低温回火后（≤200℃），按图 1a ~ j 进行金相组织评定。分级说明见表 1。

图样规定硬度下限高于或等于 55HRC 时，3 ~7 级为合格。

图样规定硬度下限低于 55HRC 时，3 ~9 级为合格。

4　试样制备

4. 1　取样部位：在零件感应淬火区中部截取或按零件技术条件规定部位截取，取样时不应有回火现象。

4. 2　金相试样经磨制后用含有体积分数为 2% ~5% 硝酸的酒精溶液浸蚀，直到显示出清楚的硬化层为止。

5　检验方法

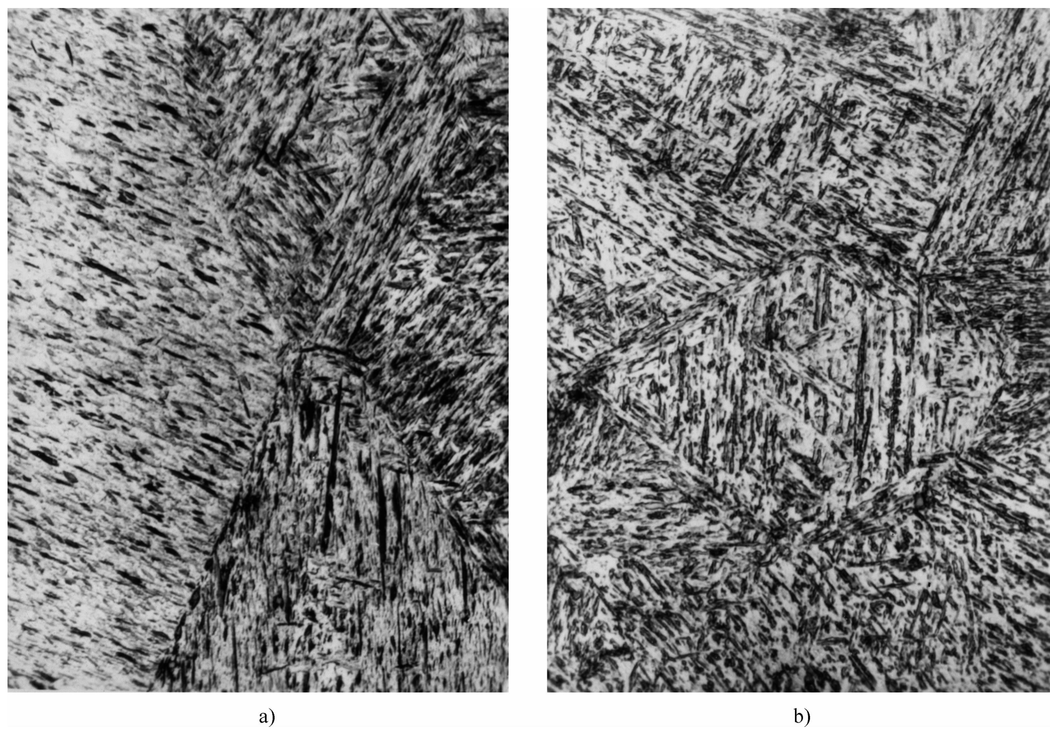
5. 1　有效硬化层深度测量方法：零件经淬火、低温回火后，在维氏硬度试验机上用 9. 8N 的试验力，在垂直于零件表面的横截面指定部位进行测量。

经有关各方协议可以采用4.9～49N范围的试验力，其测量方法按GB/T 5617执行。

5.2 显微组织应在400倍下测量，在有效硬化层表层处检验。

表1 显微组织分级说明

级别	组织特征	晶粒平均面积/mm^2	对应的晶粒度	图号
1	粗马氏体	0.06	1	图1a
2	较粗马氏体	0.015	3	图1b
3	马氏体	0.001	6～7	图1c
4	较细马氏体	0.00026	8～9	图1d
5	细马氏体	0.00013	9～10	图1e
6	微细马氏体	0.0001	10	图1f
7	微细马氏体，其含碳量不均匀			图1g
8	微细马氏体，其含碳量不均匀，并有少量极细珠光体（托氏体）+少量铁素体（<5%）			图1h
9	微细马氏体+网络状极细珠光体（托氏体）+未溶铁素体（<10%）			图1i
10	微细马氏体+网络状极细珠光体（托氏体）+大块状未溶铁素体（>10%）			图1j



a)　　　　b)

图1 显微组织分级图


c)


d)


e)

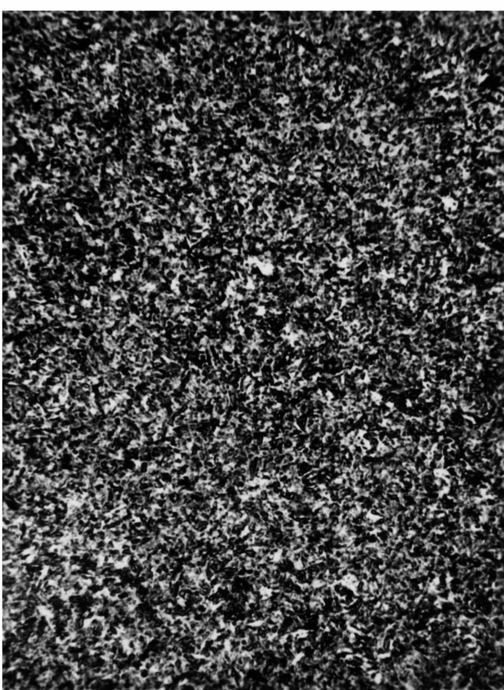
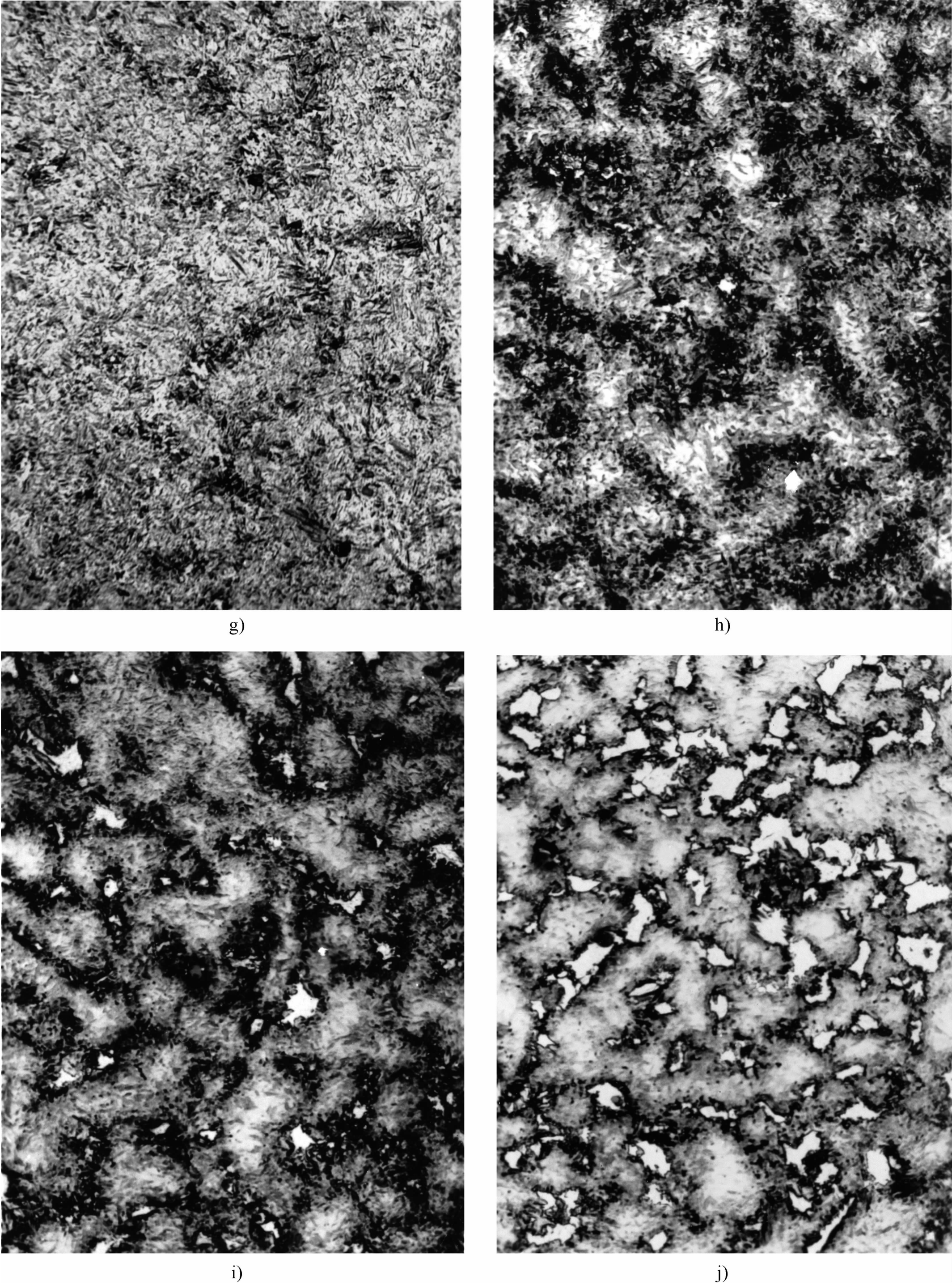

f)

图1　显微组织分级图（续一）



g) h) i) j)

图 1 显微组织分级图（续二）

第十一节　薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件显微组织检测

一、概论

薄层碳氮共渗或薄层渗碳工艺较广泛地用于自行车、缝纫机、仪表、标准件等行业要求耐磨、抗疲劳的各种钢件上。薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件的渗层深度一般都不大于0.3mm，钢种多数为08F、Q215AF、Q235AF、10、15、20等低碳钢所制造的小型薄壁零件。生产实践证明，薄渗层（一般≤0.3mm）钢件显微组织特征、钢件表层碳及氮含量、技术要求（即技术考核项目、指标等）与较厚渗层（>0.3mm）有明显差别。因此，薄渗层钢件质量检验借用汽车渗碳或碳氮共渗齿轮金相检验标准是不合适的，按照薄层碳氮共渗或薄层渗碳工艺特点编制薄渗层显微组织检验标准是非常必要的。本标准是在充分调研国内现行热处理工艺、解剖检测有关产品及进行必要试验验证的基础上编制的。本标准制定于1995年，并于2007年进行了修订，标准编号为JB/T 7710—2007。

二、标准应用说明

1. 关于钢件表层碳、氮含量

薄渗层（碳氮共渗或渗碳工件渗层深度≤0.30mm）表层最低碳、氮含量的确定，是本标准主要技术指标之一，也是与现行“厚渗层”（碳氮共渗或渗碳工件渗层深度>0.3mm）标准，即QC/T 262—1999《汽车渗碳齿轮金相检验》及QC/T 29018—1991《汽车碳氮共渗齿轮金相检验》的主要差别。后者规定表层碳含量≥0.8%（质量分数），而薄渗层工件均属小型薄壁零件。碳氮共渗或渗碳工艺温度低，时间短，因而大多数工件表面碳含量明显低于0.8%（质量分数），氮含量也较低。为此，QC/T 262—1999《汽车渗碳齿轮金相检验》及QC/T 29018—1991《汽车碳氮共渗齿轮金相检验》所规定的某些技术指标及检验内容，不适用于薄渗层工件检测标准。

根据调查，国内各有关企业现行热处理工艺中，碳氮共渗温度多为790~870℃，时间为30~70min；渗碳温度为780~870℃，时间为25~180min。对各类典型产品或试样进行剥层分析，表层碳含量多为0.5~0.8%（质量分数），极少零件碳含量为1.2%（质量分数），氮含量为0.1%~0.32%（质量分数）。另外，据自行车行业对国外薄渗层产品分析，表层碳含量多为0.6%（质量分数）左右。因此，本标准规定了工件表层最低碳含量不小于0.5%（质量分数），氮含量不小于0.1%（质量分数），是比较恰当的。

2. 关于薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件显微组织特征

由于薄渗层钢件表层碳含量范围较宽［w（C）为0.50%~0.80%］，大多数钢件表层氮含量较低［w（N）为0.10%~0.15%］，因而薄渗层钢件显微组织有下列几个特征。

（1）当钢件表层碳含量较低时［w（C）<0.60%］，表层显微组织为混合型马氏体形态，即板条状马氏体+片状马氏体。

（2）当钢件表层碳含量较高时，表层显微组织主要为片状马氏体+少量残留奥氏体。

（3）由于薄渗层钢件表层一般情况下碳含量较低，绝大多数工件表层显微组织基本上不产生游离碳化物或碳氮化合物。

（4）绝大多数工件显微组织中不产生明显黑色组织。

（5）由于薄渗碳钢件渗碳温度偏低，处理时间短及炉气中碳、氮势等原因，薄碳氮共渗钢件表

层氮含量较低，使二者显微组织基本相似，所以本标准对这两类不同化学热处理钢件显微组织采用同一套图谱检验。

3. 关于薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件的渗层深度的测量

GB/T 9451—2005《钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定》中规定显微组织测量法和显微硬度测量法同等有效。为了与国家标准配套使用，本标准保留了薄碳氮共渗层深度或薄渗碳层深度测量图。当渗层表面有过共析区或共析区时，采用标准文本图1a测量渗层深度；若渗层表面只有亚共析区，则采用标准文本图1b测量渗层深度。而测量方法从表面测至心部组织处作为渗层深度。本标准测量方法的可靠性，早在验证比较渗碳及碳氮共渗硬化层用显微组织测量法与用显微硬度测量法测量差异时充分证实，这两种方法测量渗层深度的差异≤0.06mm，即用显微组织测量法测定的硬化层比用显微硬度测定的硬化层深0.06mm。

4. 关于显微组织评级

（1）薄层碳氮共渗或薄层渗碳工艺的特点是温度低，处理时间短，钢件表层碳氮含量较低。本标准渗层组织中规定马氏体级别基本能覆盖薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件淬火后可能产生的马氏体形态。

（2）为了便于检测人员操作，也可根据马氏体形态进行评级。当被检钢件渗层显微组织为混合型马氏体形态时，即由明显板条状马氏体和片状马氏体构成时，可按标准文本图3、表2进行评级；当被检钢件渗层显微组织构成基本为马氏体加残留奥氏体时，可按标准文本图2及表1进行评级。

（3）本标准为热处理行业通用性的检测标准。在标准中对薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件表层碳、氮含量仅做最低含量规定，不规定碳、氮含量范围。同样，对钢件渗层中马氏体合格级别范围及心部铁素体合格级别范围也不宜做规定。具体合格级别应根据产品技术条件要求，由各专业或企业相关标准确定。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 7710—2007）

薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件　显微组织检测

1　范围

本标准规定了薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件表层和心部显微组织评级及渗层深度的测定方法。

本标准适用于碳氮共渗或渗碳层深度小于或等于0.3mm的08F、Q215AF、10、15、20、20Cr、20CrMnMo等低碳和低合金钢的零件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232　金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 9451—2005　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定［ISO 4970：1979（E），MOD］

3　术语和定义

GB/T 7232 中确立的术语和定义适用于本标准。

4　试样

4.1　试样的切取

试样应从薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件上切取，也可用与钢件的材质、热处理状态、有效厚度等一致，并经同炉碳氮共渗或渗碳处理的试样。

4.2　试样的形式

试样的形式应符合 GB/T 9451—2005 中 4.1.1 的规定。

4.3　表层碳氮含量要求

薄层碳氮共渗钢件表层碳含量应不低于 0.50%，氮含量应不低于 0.10%。薄层渗碳钢件表层碳含量应不低于 0.50%。

4.4　制备注意事项

试样在制备过程中，不允许因受热而导致组织变化，应避免试样边缘出现圆角并防止改变斜截面试样的角度。

5　渗层深度的测量

5.1　组织状态

测量在平衡状态组织下进行。

5.2　图谱选择

渗层显微组织有过共析区或共析区时，按图 1a 测量；当显微组织仅有亚共析区时按图 1b 测量。

5.3　方法要求

测量方法按下列要求进行：

a）试样磨面用 4% 硝酸酒精溶液侵蚀；

b）放大倍率为 200 倍；

c）测量部位应按有关技术条件规定执行；

d）渗层深度为从钢件表面沿其垂直方向至心部组织处的距离，如图 1a、图 1b 所示。

6　渗层显微组织评级

6.1　组织状态

评级在淬火状态下进行。

6.2　侵蚀剂

试样磨面用 4% 硝酸酒精溶液侵蚀。

6.3　放大倍率

放大倍率为 400 倍。

6.4　渗层显微组织主要为针状马氏体的组织评级

当渗层显微组织主要为针状马氏体时，马氏体级别及残留奥氏体级别按图 2 评定，或按其针叶长度及残留奥氏体含量多少确定，见表 1。

表 1　渗层显微组织主要为针状马氏体时的组织评级

马氏体级别	显微组织特征	马氏体针最大尺寸/mm	残留奥氏体含量（%）
1	隐针马氏体 + 残留奥氏体	<0.003	<3
2	针马氏体 + 残留奥氏体	0.010	8

（续）

马氏体级别	显微组织特征	马氏体针最大尺寸/mm	残留奥氏体含量（%）
3	较粗针状马氏体+残留奥氏体	0.030	25
4	粗针状马氏体+残留奥氏体	0.045	37
5	粗大针状马氏体+残留奥氏体	0.065	40

6.5　渗层显微组织主要为板条马氏体的组织评级

当渗层显微组织主要为板条马氏体时，马氏体级别按图3评定，其针叶长度见表2。

表2　渗层显微组织主要为板条马氏体时的组织评级

马氏体级别	显微组织特征	马氏体针最大尺寸/mm
1	板条马氏体+细小针状马氏体	0.0025
2	板条马氏体+中等针状马氏体	0.0100
3	板条马氏体+较粗针状马氏体	0.0200
4	板条马氏体+粗针状马氏体	0.0325
5	板条马氏体+粗大针状马氏体	0.0425

6.6　心部铁素体级别评级

心部铁素体级别按图4评定，铁素体特征及铁素体含量见表3。

表3　心部铁素体级别评级

铁素体级别	铁素体特征	铁素体含量（%）	铁素体级别	铁素体特征	铁素体含量（%）
1	无游离铁素体	0	4	多量块状游离铁素体	50
2	少量块状游离铁素体	10	5	大量块状游离铁素体	70
3	较多量块状游离铁素体	30			

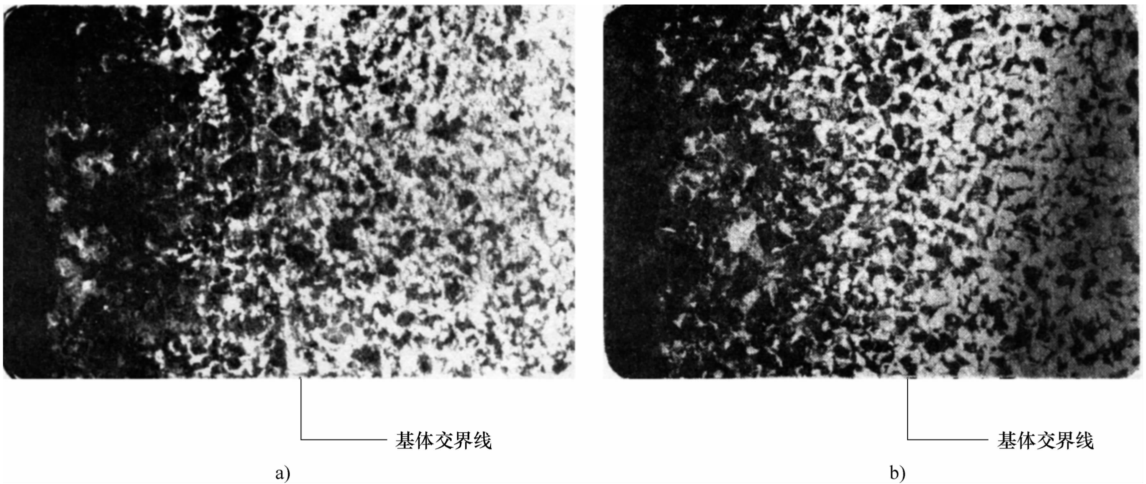
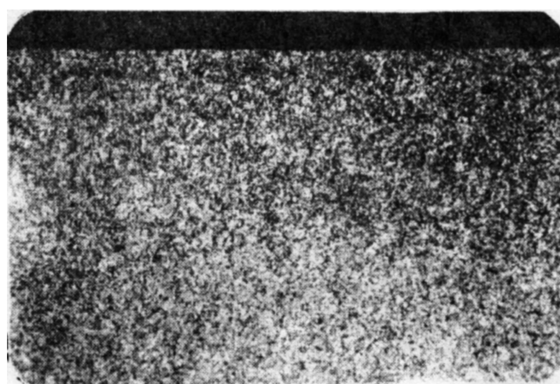
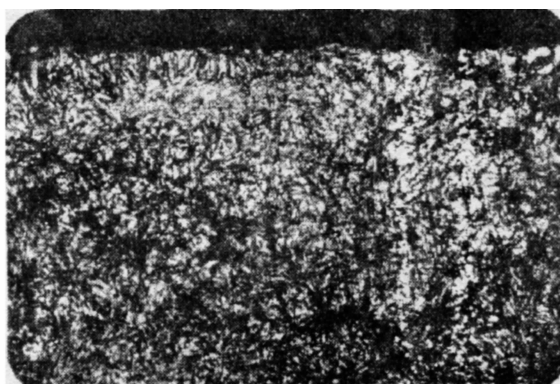
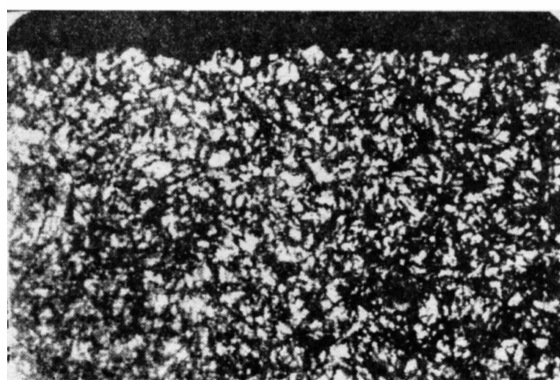
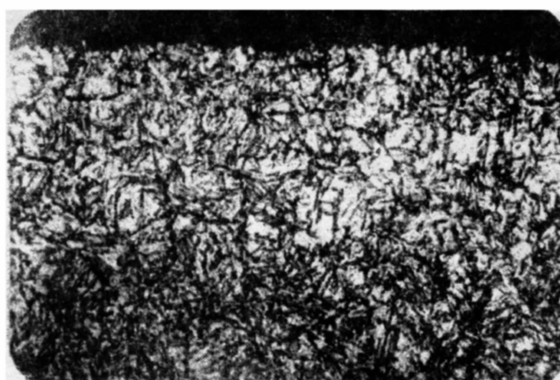


图1　薄层碳氮共渗或薄层渗碳渗层深度测量图（×200）


a) 1级


b) 2级


c) 3级


d) 4级

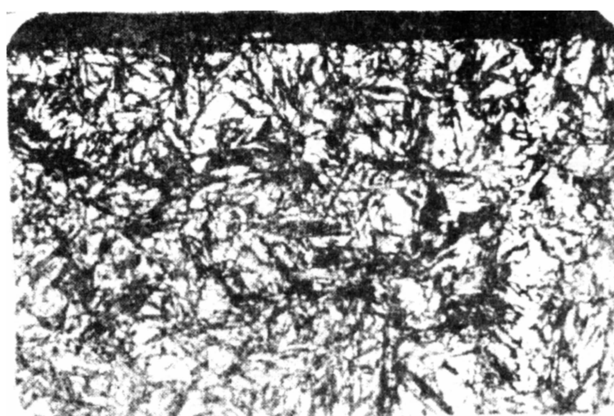
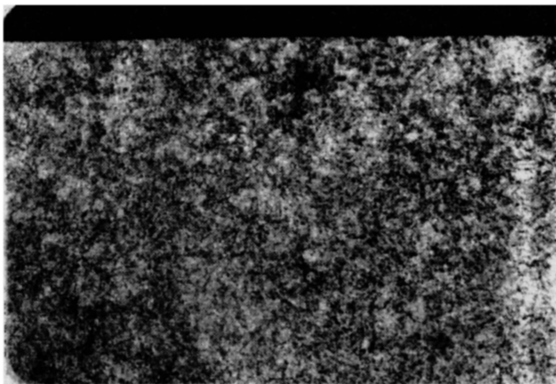
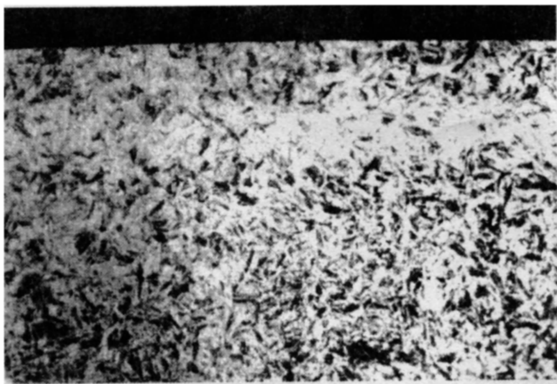

e) 5级

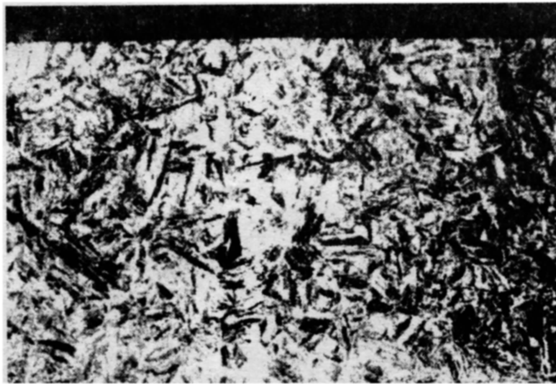
图 2　马氏体及残留奥氏体级别图（×400）



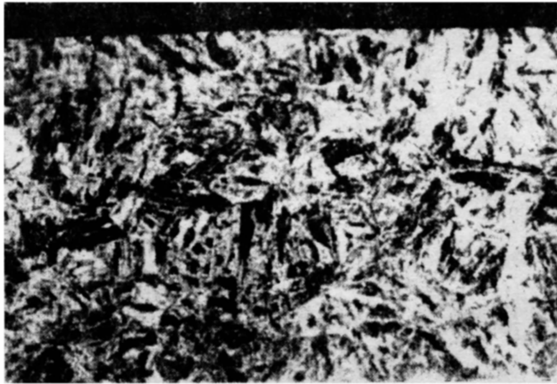
a) 1级



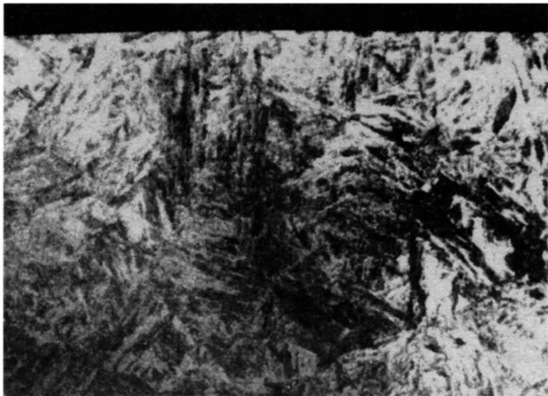
b) 2级



c) 3级

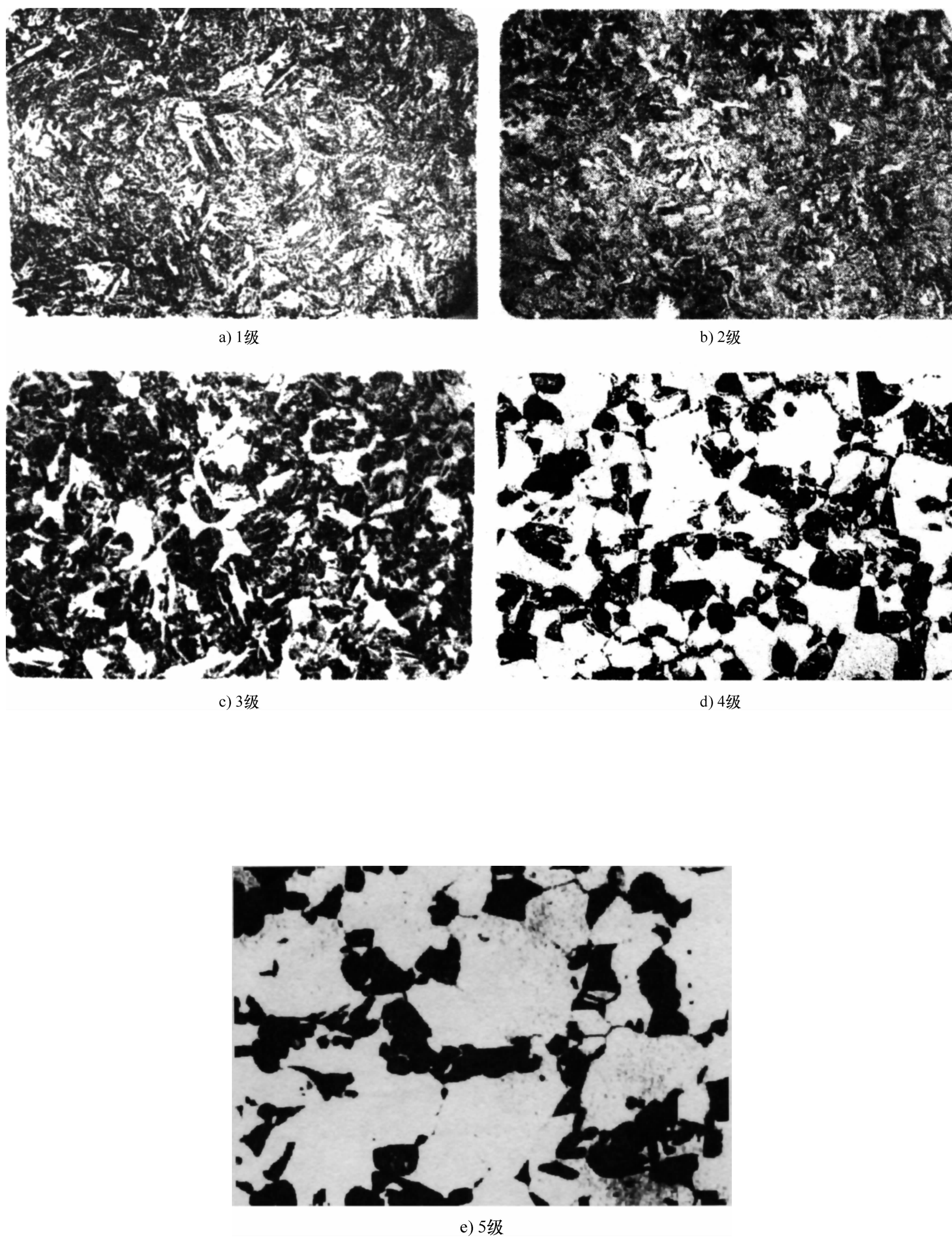


d) 4级



e) 5级

图 3 马氏体级别图（×400）



a) 1级

b) 2级

c) 3级

d) 4级

e) 5级

图4　心部铁素体级别图（×400）

7　检验报告

检验报告应包括下列内容：

a）零件号、零件名称、材料及碳氮共渗或渗碳工艺；

b）零件检验部位或试样与编号及检验数量；

c）检验方法；

d）检验结果；

e）检验日期及检验者签名。

第十二节　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核

一、概论

渗碳和碳氮共渗工艺以其表面高硬度、心部高强度高韧性、渗层深度可选择范围宽等优点，应用越来越广，特别是汽车、模具等机械制造业尤为广泛。

近年来，特别是加入世界贸易组织以来，国际科技交流和贸易往来日趋广泛，我国正在从制造大国逐渐成为制造强国。作为制造业重要基础之一的热处理，跟踪和采用国际标准是产品质量上台阶、开拓国际市场的首选良策。这也正是本次标准修订的目的。

本标准是在对 ISO 2639：2002《钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校验》和国外同类标准的主要技术指标进行对比分析，对 GB/T 9450—1988《钢件渗碳淬火有效硬化层深度的测定和校核》进行的第一次修订，标准编号为 GB/T 9450—2005。本标准修改采用了 ISO 2639—2002 的主要技术指标。国内外渗碳淬火硬化层同类标准比较见表 4. 12-1。

表 4. 12-1　国内外渗碳淬火硬化层同类标准比较

标准编号	年代	定义	适用范围	测试方法	试验力	界限值 HV	具体测量方法
ISO 2639	1982	有效硬化层深度：从表面到维氏硬度为550HV处的垂直距离	1）渗碳层和碳氮共渗深度大于0. 3mm 2）在热处理到最终硬度值后，距表面 3 × DC 处硬度小于 450HV 的零件	硬度法（HV）	9. 807N（1kgf） 特殊情况下，可采用 4. 903 ~ 49. 03N（0. 5 ~ 5kgf）	550	在抛光好的零件横截面上选一区域，沿与表面垂直的一条线上打硬度压痕，每隔 0. 1mm 测一点，直至550HV
	2002	硬化层深度：从表面到维氏硬度为 550HV 处的垂直距离	1）渗碳层和碳氮共渗层 2）在热处理到最终硬度值后，距表面 3 × CHD 处硬度小于 450HV 的零件	硬度法（HV）	9. 807N（1kgf） 特殊情况下，可选用 0. 98 ~ 9. 8N （0. 1 ~ 1kgf）；可使用努氏硬度		

（续）

标准编号	年代	定义	适用范围	测试方法	试验力	界限值 HV	具体测量方法
JIS G 0557	1996	1）有效硬化层深度：淬火状态或低于200℃回火后从表面到维氏硬度550HV位置的距离 2）全硬化层深度：从表面到硬化层与基体的物理与化学性质几乎无差异的距离 3）硬度分布曲线	同 ISO 2639：1982	1）硬度法 2）宏观组织法 经协商同意，可使用洛氏表面硬度	2.9N(0.3kgf) 特殊情况可采用 0.9807 ~ 98.07N（0.1 ~ 10kgf）	1)550 2）与基体颜色有明显的分界处	1)与 ISO 相同 2)用低倍放大镜测定全硬化层
NF A04-202	1984	与 ISO 2639—1982 相同		可使用表面洛氏硬度作为预校准			
DIN 50190	1978		渗碳或碳氮共渗	可使用努氏硬度	9.807N(1kgf) 特殊情况可采用 4.903 ~ 49.03N(0.5 ~ 5kgf)		各表面硬化层深度差不超过最大值的10%
DIN EN ISO 2639	2003	同 ISO 2639：2002	同 ISO 2639：2002	同 ISO 2639：2002	同 ISO 2639：2002	同 ISO 2639：2002	同 ISO 2639：2002
SAE J423	1979	有效硬化层：指从硬化表面到维持在规定硬度水平最远处的垂直距离，通常硬度判据为50HRC 全硬化层：从表面到硬化层与基体的物理与化学性质几乎无差异的距离	所有的表面硬化处理工件	1）化学法剥层法分析 2）力学法（硬度法） 3）宏观目测法 4）显微法	应使用微小压痕的试验机，推荐使用具有金刚石锥或努氏硬度计的试验机	1）比心部名义碳含量高0.04%（质量分数）处 2）50HRC 3）淬硬层与心部交界处	1）剥层分析 2）用表面洛氏硬度测定 3）试样腐蚀后，根据横断面上所有黑色区域的读数，求得总深度

二、标准应用说明

本标准的内容和主要技术指标基本与 ISO 2639：2002 相同，即修改采用 ISO 2639：2002，替代 GB/T 9450—1998。

1. 本标准的适用范围

本标准的适用范围同 ISO 2639：2002，限定于渗碳或碳氮共渗层，经淬火回火处理后，基体（三倍于硬化层处）硬度值 < 450HV 的钢件硬化层的测定。与原标准的不同之处在于没有限制渗层深度，这点与日本、德国和美国汽车协会标准相一致。

对于基体硬度 > 450HV 的零件，则以 25HV 为一档，相应提高界限硬度值，本标准依然适用。

2. 关于硬化层的定义和表示方法

硬化层的定义是从表面到维氏硬度为 550HV1（ISO 6507-1）或与之相应的努氏硬度（ISO 4545）处的垂直距离，用 CHD 表示，单位为 mm。硬度法作为衡量渗碳层深度的技术指标已经在国际上得到公认。硬化层深度通常是指零件表面距某一硬度值的垂直距离，即原标准中的有效硬化层深度。而全硬化层深度指从零件表面到与基体之间最短的垂直距离。在实际应用中，往往很难确定硬化层与基体的物理和化学性质几乎没有差异的界限，只有用金相法测定才准确，但实际测定比较繁琐。

测定维氏硬度所采用的试验力基准为 9. 807N（1kgf）。在特殊情况下，可采用的试验力范围为 0. 9807 ~ 9. 807N（0. 1 ~ 1kgf），试验力大小的选择应视渗层深浅而定。这里，试验力的精度按照硬度标准取小数点后 4 位。若选用 9. 807N（1kgf）以外的试验力，需要表明试验力大小和渗层深度，如 CHD0. 5 = 0. 3，即试验力为 0. 5kgf，渗层深度为 0. 3mm。

3. 硬化层的测定方法

新版标准规定使用维氏硬度，也可使用努氏硬度测定，实际执行起来更方便，学术上也更严谨。旧标准规定维氏硬度，必要时可选择表面洛氏硬度。

（1）试样。试样原则上采用零件本身。特殊情况下，可经有关各方协商确定，可采用与零件的材质相同、加工和热处理工艺规范一致、形状和尺寸差不多或相近的试样。

（2）测量步骤（与原标准相同）。将试样沿着与表面垂直的方向切断，然后镶嵌、磨削、抛光，保证试样表面平整光滑、无氧化皮或其他异物。

在试样的抛光表面上选定待测区域，通常在 1. 5mm 宽的范围内取 2 ~ 5 点，分别在各点至表面的垂线上测定硬度，相邻压痕中心之间的距离不超过 0. 1mm，相邻压痕间的距离应大于压痕对角线的 2. 5 倍，然后绘制一条以至表面的距离为横坐标、以硬度值为纵坐标的硬度分布曲线，再根据曲线求得 550HV 处至试样表面的垂直距离，即硬化层深度。

（3）求平均值。重复上述方法，得到一系列硬度分布曲线和硬化层深度值。若两条曲线上得到的两个硬化层数值之间的差小于或等于 0. 1mm，取二者的平均值作为该试样的硬化层深度；若差值大于 0. 1mm，则应重复上述试验；若再次试验后的差值仍然大于 0. 1mm，则应如实报告具体数值，供有关部门参考。

（4）校核。如果已知硬化层深度的大致位置，可采用内插法校核或确定硬化层深度。在估计硬化层深度的上下范围内选取 5 个点，各打 5 个压痕，取硬度的平均值，用内插公式求得硬化层深度。（北京机电研究所邵周俊供稿）

三、标准内容（GB/T 9450—2005）

钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核

1　范围

本标准规定了钢制零件渗碳及碳氮共渗淬火硬化层深度的含义及其测定方法。

本标准适用于渗碳和碳氮共渗淬火硬化层；并经最终热处理后，距表面 3 倍于淬火硬化层深度

处硬度值小于450HV的零件。

不能满足上述条件的钢件，应根据专门协议确定硬化层深度。

对于距表面3倍于淬硬层处硬度值高于450HV的钢件，本标准仍然有效，前提条件是选择硬度值大于550HV（以25HV为一级）的某一特定值作为界限硬度。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法

GB/T 18449.1　金属努氏硬度试验　第1部分：试验方法

3　术语和定义

下列术语和定义实用于本标准。

淬硬层深度（渗碳淬火硬化层）　case-hardened depth（of a carburized and hardened case）

从零件表面到维氏硬度值为550HV1（按照GB/T 4340.1、GB/T 18449.1的规定）处的垂直距离。

4　通则

4.1　表示方法

淬硬层深度用字母“CHD”表示，单位为mm（见示例）。

示例：CHD＝0.8mm。

测定维氏硬度所采用的试验力规定为9.807N（1kgf）。

4.2　特殊情况

4.2.1　维氏硬度测量方法

特殊情况下，经有关各方协议，维氏硬度试验力的使用范围可为4.903N（0.5kgf）～9.807N（1kgf），即硬度界限值可使用550HV1以外的其他值。

使用其他载荷或其他界限硬度值时，应在CHD后面标注（见示例）。

示例：CHD515HV5，表示采用维氏硬度试验力为49.03 N（5 kgf），界限硬度值为515HV。

4.2.2　努氏硬度测量方法

经有关各方协议，按GB/T 18449.1的规定，也可以使用努氏硬度试验方法。

5　淬硬层深度的测定

5.1　总则

在有争议的情况下，本测量方法是唯一可采用的仲裁方法。

5.2　测定原理

根据垂直于零件表面的横截面上硬度梯度来确定硬化层深度，即以硬度值为纵坐标，以至表面的距离为横坐标，绘制出硬度分布曲线，用图解法在曲线求得。

5.3　测定方法

5.3.1　试样

除特别协议外，应按规定在最终热处理后的零件横截面上测量。在一定条件下，可使用随炉试样。

5.3.2　待测表面的制备

为了精确测量硬度压痕对角线的长度，待检测表面要经过磨制和抛光。在抛磨过程中应采取一

切措施避免试样表面倒角或过热。

5.3.3 硬度的测定

在宽度（W）为1.5mm范围内，在与零件表面垂直的一条或多条平行线上测定维氏硬度（见图1）。

每两相邻压痕中心之间的距离（S）应不小于压痕对角线的2.5倍（见图1）。逐次相邻压痕中心至零件表面的距离差值（即 a_2-a_1）不应该超过0.1mm。测量压痕中心至零件表面的距离精度应在 $\pm 0.25\mu m$ 的范围内，而每个硬度压痕对角线的测量精度应在 $\pm 0.5\mu m$ 以内。

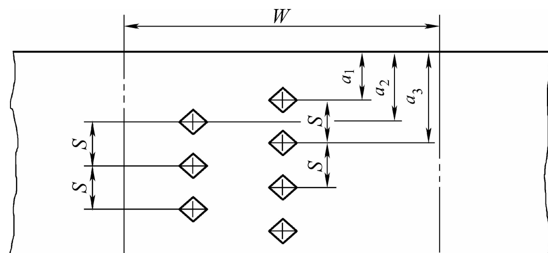


图1 硬度压痕的位置

除各方有特别协议外，在适当的条件下，应使用HV0.1（0.9807N）至HV1（9.807N）的试验力获得维氏（或努氏）硬度压痕，并用光学仪器（照相系统）在400×以上的放大倍数下测量压痕。

测定应在各方约定的位置上，在制备好的试样表面上的两条或更多条硬化线上进行，并绘制出每一条线的硬度分布曲线。

5.4 测量结果的表示方法

根据上述绘制的每一条曲线，分别确定硬度值为550HV或相应努氏硬度值处至零件表面的距离。如果这两个数值的差小于或等于0.1mm，则取它们的平均值作为淬硬层深度。

如果差值大于0.1mm，则应重复试验，直到确认试验没有问题后，如实给出试验数据。

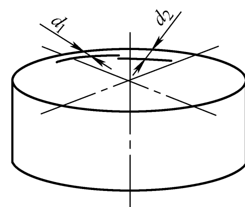


图2 硬度测量点的位置

6 淬硬层深度的校核

在渗碳（碳氮共渗）淬硬层深度已大致确定的情况下，可采用下述内插法校核。因为在本标准定义的淬硬层深度附近的过渡区，硬度梯度可近似用直线表示。

在零件的某一垂直截面上，距零件表面 d_1 和 d_2 的位置上至少各打5个硬度压痕，而且 d_1 和 d_2 分别小于和大于确定的淬硬层深度（见图2），（d_2-d_1）值应不超过0.3mm。

硬化层深度由下列公式给出：

$$CHD = d_1 + \frac{(d_2-d_1)(\overline{H}_1-H_s)}{\overline{H}_1-\overline{H}_2}$$

式中 d_1——小于硬化层深度；

d_2——大于硬化层深度；

H_s——规定的硬度值；

$\overline{H}_1$——d_1 处的硬度测量值的算术平均值（见图3）；

$\overline{H}_2$——d_2 处的硬度测量值的算术平均值（见图3）。

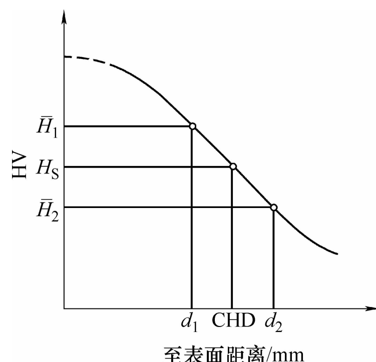


图3 硬化层深度的数学校验

注：硬用内插法时，最好检查紧靠表层下面区域的硬度。如果次表面的残留奥氏体过多，这一区域的硬度可能低于550HV极限硬度值。

7 试验报告

试验报告应包含下列信息：

a）试验零件的名称、材料及其所经过的热处理工艺；

b）零件的检测部位及数量；

c）淬硬层深度测定结果；

d）检测时发现的反常现象及偶然事故。

第十三节　钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验

一、概论

随着渗氮工艺的不断发展和普及，对渗氮层深度测定及质量检验标准的要求日益迫切。为此，制定了 JB/T 2849—1980《钢铁零件渗氮层金相检验》。

上述标准在生产实践中使用了 8 年后，根据当时机电部要求，进行了一次修订。这次修订，此标准提升为国家标准，即 GB/T 11354—1989《钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验》。2005 年再进行了修订，标准编号为 GB/T 11354—2005。

国内外有关渗氮层深度测定和金相组织检验的标准很少。对渗氮层质量检验，过去我国某些行业或企业有些具体规定，如机床业曾规定，38CrMoAl 钢渗氮前调质组织中游离铁素体含量不许超过 5%，这都是局部的，内容不全面，依据也不充分。

目前收集到的国外标准只有德国 DIN 50190：1979 第 3 部分《热处理零件的硬化深度——渗氮硬化深度测定》。其规定用维氏硬度法来测定渗氮硬化深度，即从渗氮工件表面垂直测至界限值（实测心部硬度加 50HV0.3）处的距离为渗氮硬化深度，但不考虑渗氮层的性质。该标准也不适用于硬度变化很平缓的渗氮层深度测定。

日本没有专门的渗氮层检验标准，只在 JIS B 6915《钢的渗氮及软氮化处理》中规定：渗氮层深度以 JIS G 0557《钢的渗碳硬化层深度的测定方法》中的全硬化层深度测定方法为准，即从表面到硬化层与基体的物理与化学性质几乎无差异处的距离为硬化层深度。如果区别硬化层与基体有困难时，则可采用测至比基体硬度高 30 ~ 50HV0.3 处作为确定硬化层深度的标准。对于渗氮层的金相组织没有详细规定，仅原则性地提出“根据工件钢种必须达到所要求的正常组织”。

除渗氮层深度测定方法外，目前国际上还没有渗层质量统一检验标准。

二、标准应用说明

（1）关于标准内容。本标准内容包括渗氮层深度测定方法和金相组织检验两大部分。

（2）适用范围。因气体渗氮、离子渗氮、氮碳共渗后其渗层的组成、组织形貌和特性等均大同小异。本标准规定的一些测试方法和级别图，对上述各种工艺方法处理的渗氮层均适用，属一种通用性的标准。

（3）术语。新标准对原始组织、渗氮层脆性、渗氮层疏松及脉状氮化物的含义都加以说明，删去了 GB/T 7232 中已有的“渗氮层深度”一词。

（4）原始组织的检验。通过做了相应的性能试验，按照调质处理后不同游离铁素体的含量，制定了一套渗氮前原始组织级别图。

（5）试样要求。对测定渗氮层脆性的试样，渗氮前表面粗糙度要求 Ra 不大于 0.25 ~ 0.63μm。

（6）渗氮层深度测定方法。新标准为了与国外先进工业国家的标准一致，采用维氏硬度法（载荷 2.94N），并把界限值定在基体硬度加 50HV 处。

金相法图片为 5 张，突出了用不同方法显示渗氮层的测量示范照片。

（7）渗氮层脆性检验。据反映有些钢种渗氮后，检查脆性时往往从硬度压痕四个角上出现裂纹。为了包括这种情况，新标准在脆性级别说明中增加了对角裂纹的检查规定。

（8）渗氮层疏松检验。标准中明确规定“取其最严重的部位”参照渗氮层疏松级别图进行评定，该级别图是根据20钢氮碳共渗制作的。

（9）渗氮扩散层中氮化物检查。根据后补的低周疲劳试验和接触疲劳试验，发现脉状氮化物量对加速疲劳裂纹扩展速度有一定的影响。

（10）检查项目。标准中明确了每种渗氮工艺必须要检查的项目。同时规定了一般零件的合格级别和重要零件的合格级别。（北京机电研究所胡小丽供稿）。

三、标准内容（GB/T 11354—2005）

钢铁零件　渗氮层深度测定和金相组织检验

1　范围

本标准规定了钢铁零件表面渗氮层深度的测定方法和渗氮前后金相组织的检验方法和技术要求。

本标准适用于气体渗氮、离子渗氮、氮碳共渗处理后的钢铁零件表面渗氮层深度、脆性、疏松及脉状氮化物的测定与评定。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 9451　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定（ISO 4970：1979 MOD）

3　术语和定义

本标准采用了GB/T 7232标准中的有关术语。下列术语和定义适用于本标准。

3.1　原始组织　prior metallographic structure（original structure）

指工件在渗氮处理前所具有的金相组织。

3.2　渗氮层脆性　brittleness of nitrided case

指渗氮件表面在一定的试验力作用下，维氏硬度压痕边角碎裂的程度。

3.3　渗氮层疏松　porosity of nitrided case

指渗氮件表面化合物内微孔的密集程度。

3.4　脉状氮化物　nervation and wave like nitride

指渗氮件扩散层中与表面平行走向的脉浪状氮化物。

4　原始组织的检验

对不同服役条件的渗氮零件和不同的渗氮钢材，在渗氮前可采取不同的预备热处理获得相应的原始组织。

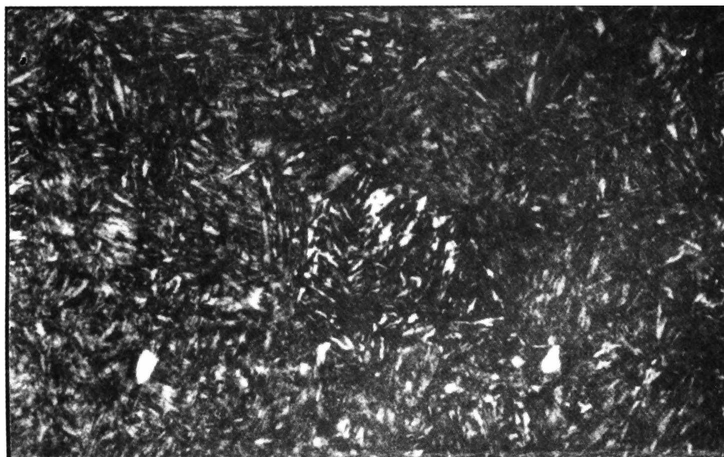
4.1　渗氮前原始组织级别分级

对调质钢渗氮前原始组织级别按索氏体中游离铁素体数量分为5级，见表1和图1。

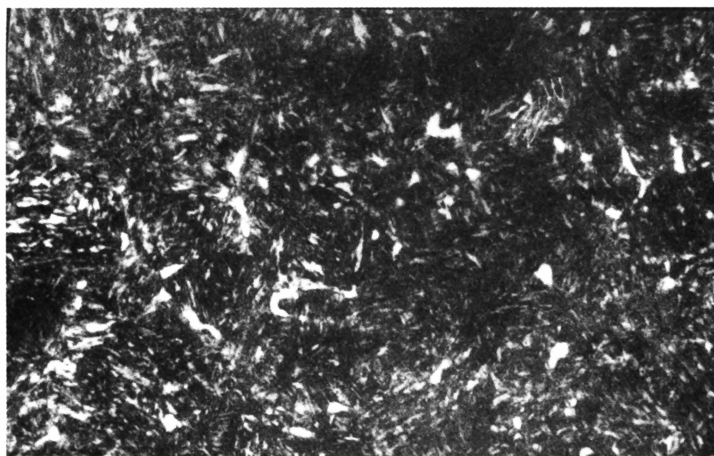
4.2　原始组织的检测方法及要求

原始组织在渗氮处理以前进行检验（对大工件可在表面2mm深度范围内检查），在显微镜下放大500倍，参照原始组织级别图进行评定，一般零件1～3级为合格，重要零件1～2级为合格。

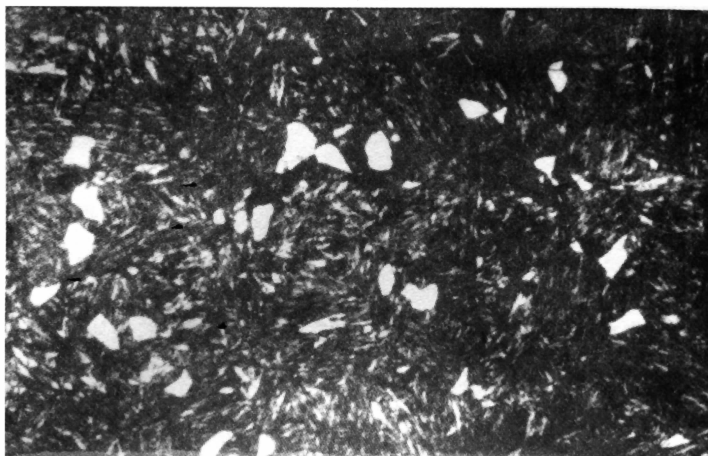
渗氮工件的工作面不允许有脱碳层或粗大的索氏体组织。



a) 1级

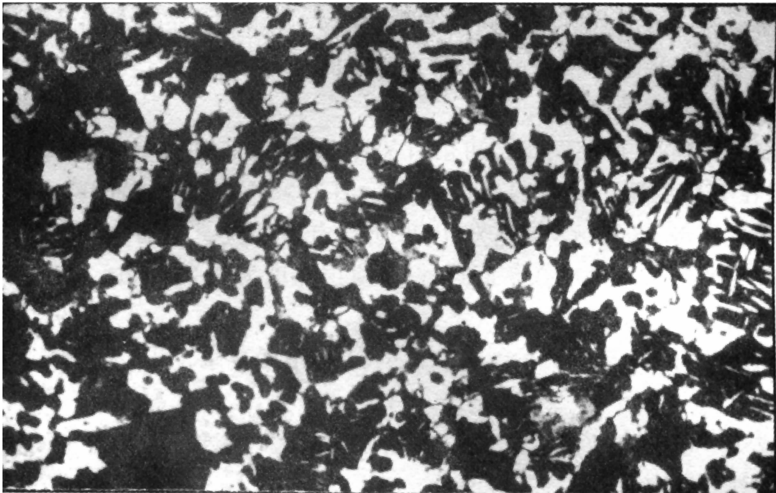


b) 2级

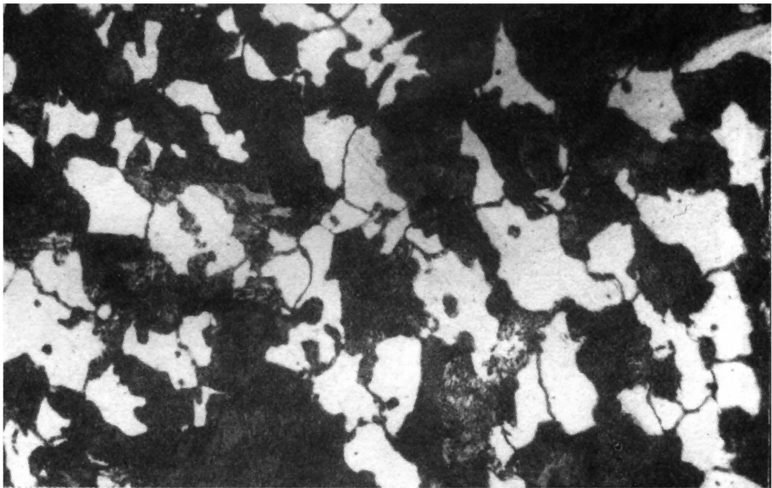


c) 3级

图 1　渗氮前原始组织级别图（×500）
（4%硝酸乙醇溶液侵蚀）



d) 4级



e) 5级

图1　渗氮前原始组织级别图（×500）
（4%硝酸乙醇溶液侵蚀）（续）

表1　渗氮前原始组织级别及说明

级别	渗氮前原始组织级别说明	图号
1	均匀细针状索氏体，游离铁素体量极少	图1a
2	均匀细针状索氏体，游离铁素体量<5%	图1b
3	细针状索氏体，游离铁素体量<15%	图1c
4	细针状索氏体，游离铁素体量<25%	图1d
5	索氏体（正火），游离铁素体量>25%	图1e

5　试样条件

5.1　试样的切取

试样应从渗氮零件上切取，也可用与零件的材料、处理条件、加工精度相同，并经同炉渗氮处理的试样。

5.2　检测部位的要求

检验部位应有代表性，试样应垂直于渗氮层表面切取，在磨制和抛光过程中，检测表面不允许过热，边缘不允许倒角和剥落。

5.3　检查渗氮层脆性的试样要求

检查渗氮层脆性的试样表面粗糙度要求 $Ra \leqslant 0.25 \sim 0.63\mu m$，但不允许把化合物层磨掉。

6　渗氮层深度的测定方法

6.1　硬度法

本标准采用维氏硬度，试验力规定为 2.94N（0.3kgf），从试样表面测至比基体维氏硬度值高 50HV 处的垂直距离为渗氮层深度。

在距离表面 3 倍渗氮层深度处测得的硬度值（至少取 3 点平均）作为实测的基体硬度值。

对于渗氮层硬度变化很平缓的钢件（如碳钢或低碳低合金钢制作），其渗氮层深度可从试样表面沿垂直方向测至比基体维氏硬度值高 30HV 处。

当渗氮层的深度与压痕尺寸不适合时，可由有关各方协商，采用 1.96N（0.2kgf）～19.6N（2kgf）范围内的试验力，但在 HV 后需注明：如 HV0.2，表示用 1.96N（0.2kgf）试验力。

渗氮层深度用拉丁字母 D_N 表示，以毫米计，取小数点后两位。例如 0.25D_N（300HV0.5），表示界限硬度为 300HV，试验力为 4.903N（0.5kgf）时，渗氮层深度为 0.25mm。

6.2　测量步骤和结果

测量步骤和结果应符合 GB/T 9450 和 GB/T 9451 标准的要求。

6.3　金相法

在放大 100 倍或 200 倍的显微镜下，按图 2～图 6 所示进行测量，从试样表面沿垂直方向测至与基体组织有明显的分界处的距离，即为渗氮层深度。

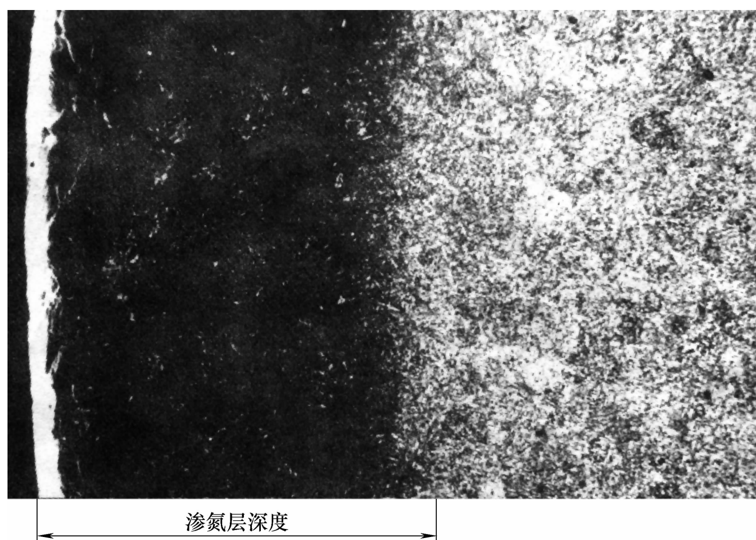


图 2　38CrMoAl 钢气体渗氮（×100）（4% 硝酸乙醇溶液侵蚀）

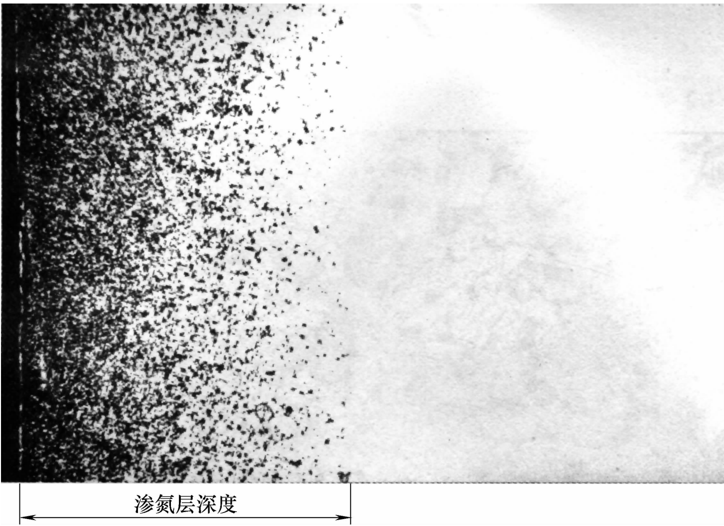


图3　40Cr钢离子渗氮（×100）（硒酸+盐酸+乙醇溶液侵蚀）

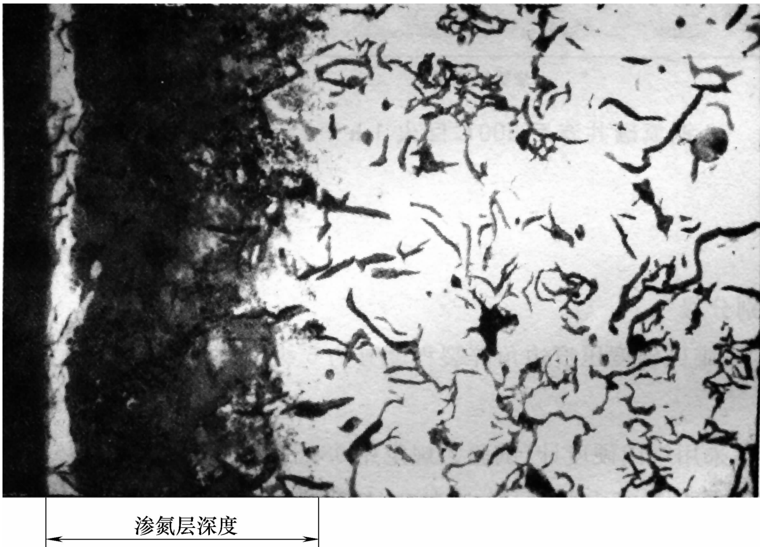


图4　HT250灰铸铁氮碳共渗（×200）（硒酸+盐酸+乙醇溶液侵蚀）

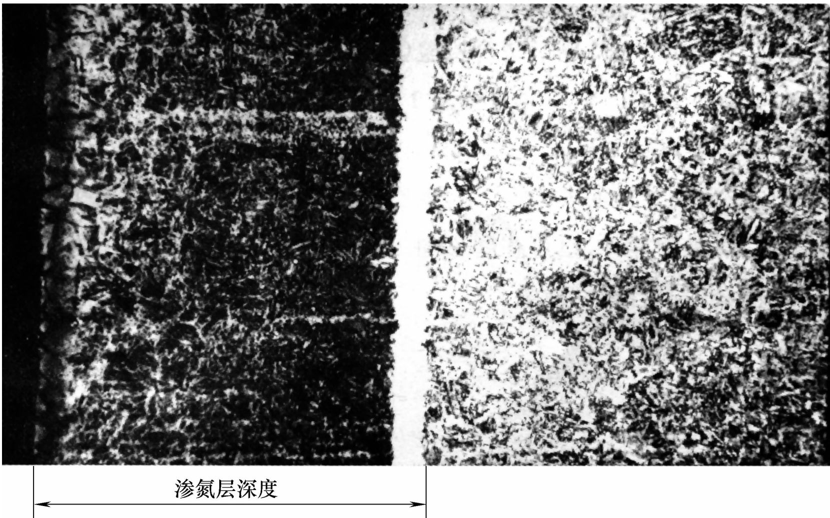


图 5　38CrMoAl 钢气体渗氮后加热到 800℃保温 1.5min/mm 淬火（×100）
（4%硝酸乙醇溶液侵蚀）

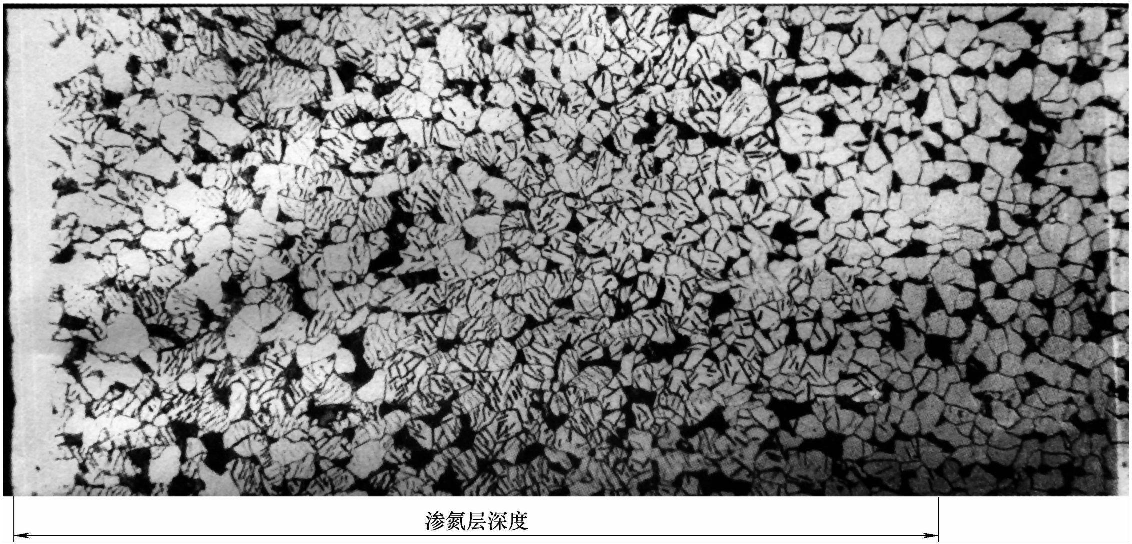


图 6　20 钢氮碳共渗后 300℃回火 1h（×200）
（4%硝酸乙醇溶液侵蚀）

6.4　仲裁

有争议时，以硬度法为仲裁方法。

7　渗氮层脆性检验

7.1　渗氮层脆性级别分级

渗氮层脆性级别按维氏硬度压痕边角碎裂程度分为 5 级，具体分级标准见图 7 和表 2。

7.2　检测方法

检验渗氮层脆性，采用维氏硬度计，试验力规定用 98.07N（10kgf），加载必须缓慢（在 5～9s

内完成)，加载后停留 5～10s，然后去载荷。如有特殊情况，经有关各方协商，亦可采用 49.03N（5kgf）或 294.21N（30kgf）的试验力，但须按表 3 的值换算。

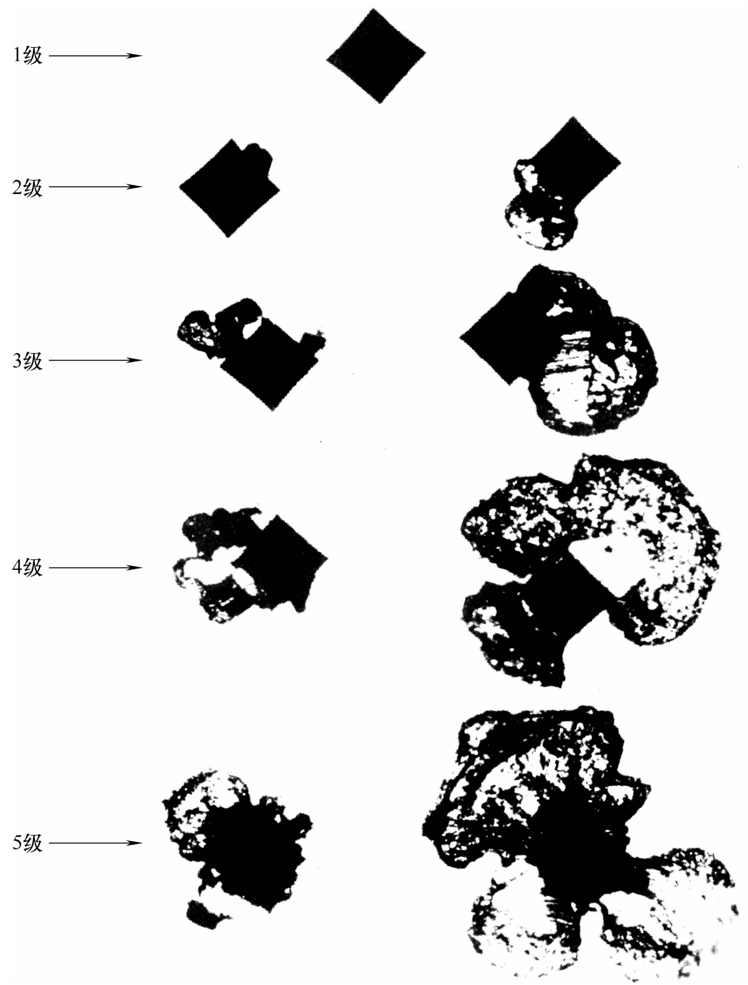


图 7 渗氮层脆性级别图（×100）［98.07N（10kgf）试验力］

表 2 渗氮层脆性级别说明

级别	渗氮层脆性级别说明	图号
1	压痕边角完整无缺	图 7
2	压痕一边或一角碎裂	
3	压痕二边或二角碎裂	
4	压痕三边或三角碎裂	
5	压痕四边或四角碎裂	

表 3 压痕级别换算 （单位：级别）

试验力/N（kgf）	压痕级别换算				
49.03（5）	1	2	3	4	4
98.07（10）	1	2	3	4	5
294.21（30）	2	3	4	5	5

7.3　检测要求

维氏硬度压痕在放大倍数为 100 倍下进行检验（参照图 7 评定级别）。每件至少测 3 点，其中 2 点以上处于相同级别时，才能定级，否则，需重复测定 1 次。

7.4　渗氮件的渗氮层脆性要求

应在零件工作部位或随炉试样的表面检验渗氮层脆性。一般零件 1 ~ 3 级合格，重要零件 1 ~ 2 级为合格，对于渗氮后留有磨量的零件，也可在磨去加工余量后的表面上测定。

经气体渗氮的零件，必须进行脆性检验。

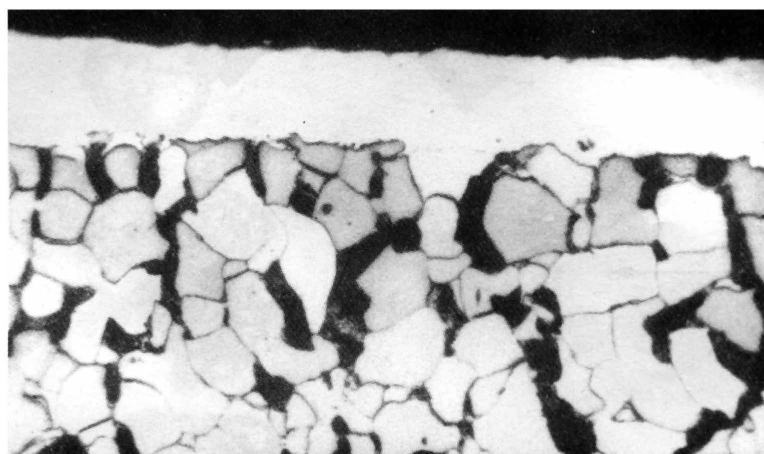
8　渗氮层疏松检验

8.1　渗氮层疏松级别分级

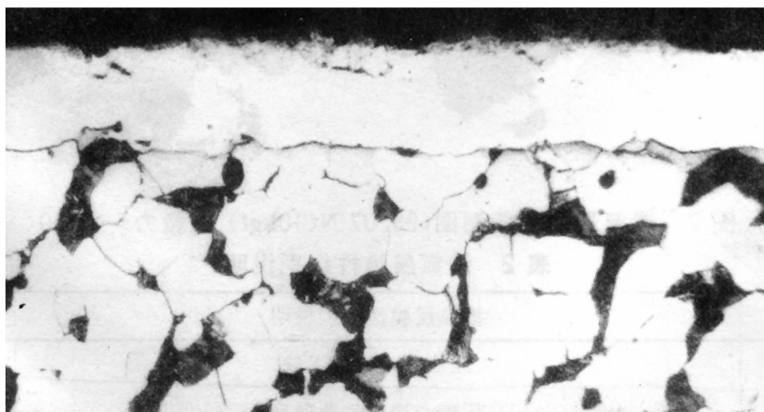
渗氮层疏松级别按表面化合物层内微孔的形状、数量、密集程度分为 5 级，见图 8 和表 4。

8.2　渗氮层疏松的检测方法及技术要求

渗氮层疏松在显微镜下放大 500 倍检验。取其疏松最严重的部位，参照渗氮层疏松级别图进行评定，一般零件 1 ~ 3 级为合格，重要零件 1 ~ 2 级为合格。



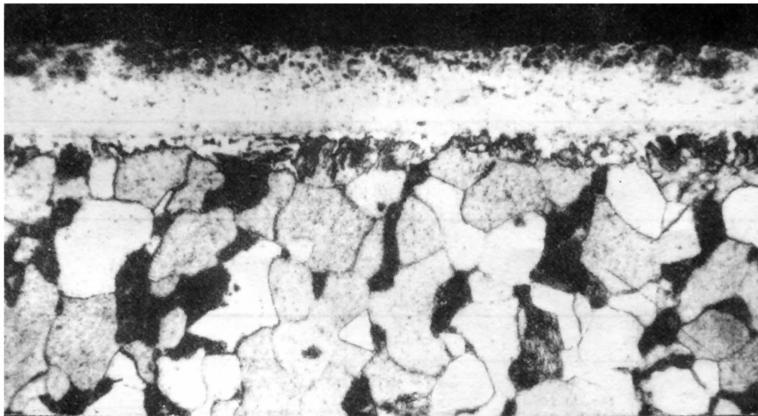
a) 1级



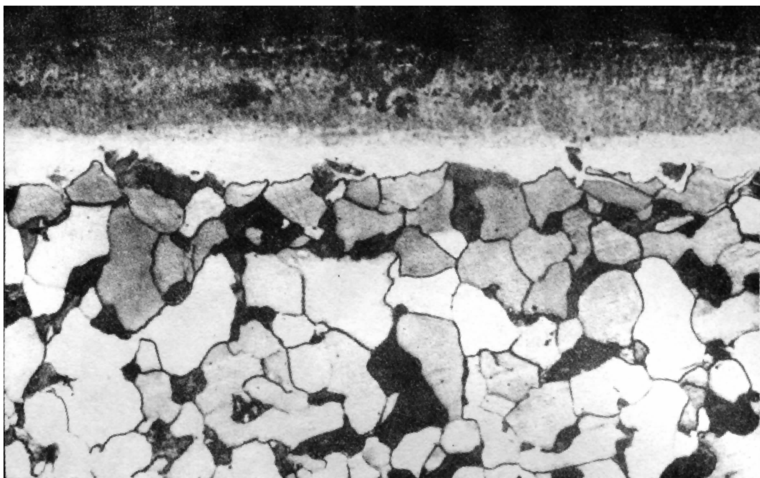
b) 2级

图 8　渗氮层疏松级别图（ ×500）

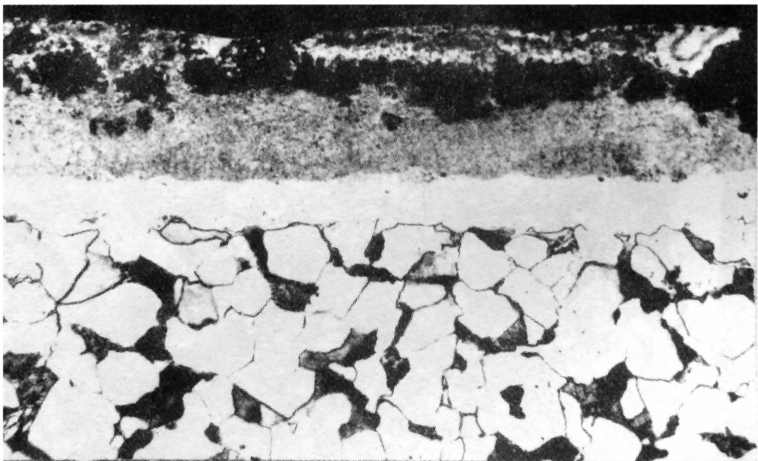
（2% 硝酸乙醇溶液侵蚀）



c) 3级



d) 4级



e) 5级

图 8　渗氮层疏松级别图(×500)
(2% 硝酸乙醇溶液侵蚀)(续)

表 4　渗氮层疏松级别说明

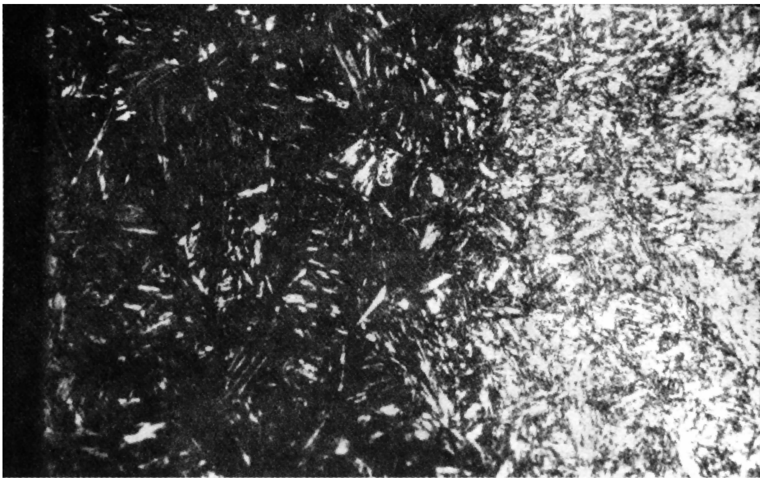
级别	渗氮层疏松级别说明	图号
1	化合物层致密,表面无微孔	图 8a
2	化合物层较致密,表面有少量细点状微孔	图 8b
3	化合物层微孔密集成点状孔隙,由表及里逐渐减少	图 8c
4	微孔占化合物层 2/3 以上厚度,部分微孔聚集分布	图 8d
5	微孔占化合物层 3/4 以上厚度,部分呈孔洞密集分布	图 8e

经氮碳共渗处理的零件,必须进行疏松检验。

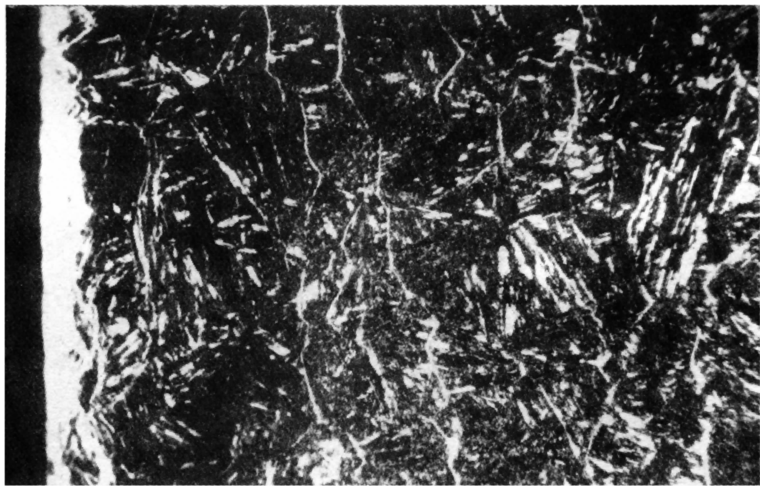
9　渗氮层中氮化物检验

9.1　渗氮层中氮化物级别分级

渗氮层中氮化物级别按扩散层中氮化物的形态、数量和分布情况分为 5 级,见图 9 和表 5。

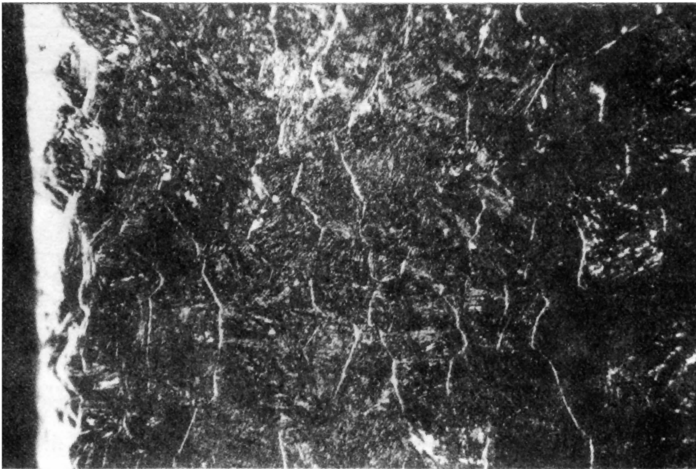


a) 1级

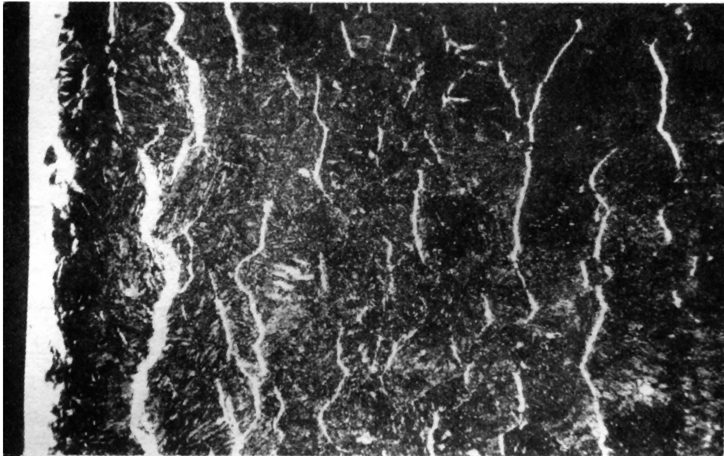


b) 2级

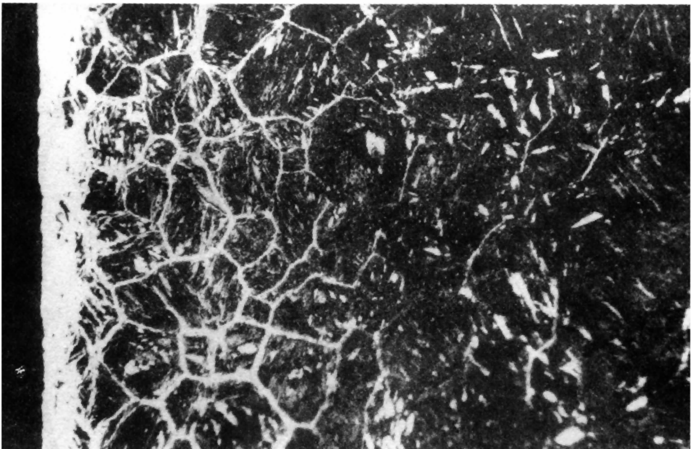
图 9　渗氮层中氮化物级别图(×500)
(4% 硝酸乙醇溶液侵蚀)



c) 3级



d) 4级



e) 5级

图 9　渗氮层中氮化物级别图(×500)
(4% 硝酸乙醇溶液侵蚀)(续)

表5 氮化物级别说明

级别	氮化物级别说明	图号
1	扩散层中有极少量呈脉状分布的氮化物	图9a
2	扩散层中有少量呈脉状分布的氮化物	图9b
3	扩散层中有较多呈脉状分布的氮化物	图9c
4	扩散层中有较严重脉状和少量断续网状分布的氮化物	图9d
5	扩散层中有连续网状分布的氮化物	图9e

9.2 检测方法及要求

扩散层中氮化物在显微镜下放大500倍进行检验，取其组织最差的部位，参照渗氮层氮化物级别图进行评定。一般零件1～3级为合格，重要零件1～2级为合格。

经气体渗氮或离子渗氮处理的零件必须进行氮化物检验。

10 检验报告

检验报告应包括下列内容：

a）零件号、零件名称、材料及渗氮工艺；

b）零件检验部位或试样与编号及检验数量；

c）检验方法；

d）检验结果；

e）检验日期及检验者签名。

附 录 A
（资料性附录）
推荐的侵蚀剂

表A.1为推荐的侵蚀剂。

表A.1 推荐的侵蚀剂

序号	名称	配方	使用方法	适用范围
1	硝酸乙醇溶液	HNO_3 2mL～4mL C_2H_5OH 100mL	侵蚀	20（回火态）、20Cr、45（正火）、38CrMoAl、3Cr2W8等钢
2	苦味酸饱和水溶液+洗涤剂	$C_6H_2(NO_2)_3OH$ 饱和水溶液 100mL $C_{12}H_{25}C_6H_5SO_3Na$ 2滴～3滴	室温侵蚀	20CrMnTi（正火）、40Cr、38CrMoAl等钢
3	氯化铜+氯化镁+硫酸铜+盐酸+乙醇溶液	$CuCl_2$ 2.5g $MgCl_2$ 10g $CuSO_4$ 1.25g HCl 2mL C_2H_5OH 100mL	室温侵蚀或擦蚀	20（油冷）、45、40Cr、38CrMoAl等钢
4	三氯化铁+混合酸水溶液+洗涤剂	$FeCl_3$ 1g $C_6H_2(NO_2)_3OH$ 0.5g HCl 5mL～10mL H_2O 100mL $C_{12}H_{25}C_6H_5SO_3Na$ 2滴～3滴	室温侵蚀或擦蚀	38CrMoAl、25Cr2MoV、40Cr、15Cr11MoV等钢
5	硫酸铜+盐酸+水或乙醇溶液	$CuSO_4$ 4g HCl 20mL H_2O 20mL 或 C_2H_5OH 100mL	室温侵蚀或擦蚀	45、40Cr、38CrMoV等钢（白亮层易被腐蚀）

（续）

序号	名　　称	配　　方	使用方法	适用范围
6	三氯酸溶液	$CuCl_2 \cdot 2NH_4Cl \cdot H_2O$　0.5g $FeCl_3$　6g HCl　2.5mL H_2O　75mL	室温擦蚀	38CrMoAl、30Cr2MoV、1Cr18Ni9Ti、15Cr11MoV 等钢(白亮层易被腐蚀)
7	硒酸或亚硒酸乙醇溶液	H_2SeO_4　3mL 或 H_2SeO_3　5g HCl　100mL 或 20mL C_2H_5OH　100mL	侵蚀	40Cr、38CrMoAl 钢及各种球墨铸铁和灰铸铁等

附　录　B

（资料性附录）

部分试验数据

B.1　表 B.1 为不同原始组织渗氮层脆性比较。

表 B.1　不同原始组织渗氮层脆性比较

试样号	开裂载荷 *F*/kN	平均 *F*/kN	开裂畸变量/mm	平均畸变量/mm	显微组织特征
11	18.30 19.40 19.40 19.76	19.21	1.03 0.95 0.95 1.01	0.98	铁素体含量 3.8%
12	19.30 18.84 17.94 16.41	18.21	0.95 0.92 0.83 0.81	0.88	铁素体含量 2.0%
13	19.00 18.84 16.26 17.32	17.85	0.95 0.94 0.84 0.88	0.90	铁素体含量 7.5%
14	16.41 17.93 16.87 16.56	16.94	0.79 0.88 0.87 0.81	0.83	铁素体含量 34.3%
15	15.35 16.72 13.98 14.13	15.04	0.84 0.86 0.81 0.78	0.82	铁素体含量 32.5%
16	11.85 11.09 10.33 9.72	10.74	0.73 0.66 0.62 0.63	0.66	铁素体含量 50%
17	11.24 11.24 10.79 10.48	10.93	0.69 0.70 0.63 0.66	0.67	铁素体含量 45%
18	19.00 18.24 18.69 19.30	18.80	0.91 0.95 0.95 0.94	0.94	正常索氏体

（续）

试样号	开裂载荷 F/kN	平均 F/kN	开裂畸变量/mm	平均畸变量/mm	显微组织特征
19	16.41 17.93 16.41 17.32	17.02	0.82 0.89 0.82 0.81	0.83	稍过热索氏体
20	17.48 18.54 18.54	18.18	0.83 0.91 0.86	0.86	过热粗针状索氏体

B.2　表 B.2 为金相法与硬度法之间的关系。

表 B.2　金相法与硬度法之间的关系

试验钢种	工　艺	心部硬度　HV0.1	渗氮层与心部交界处		心部与交界处硬度差值 HV0.1
			深度/mm	硬度　HV0.1	
20 碳钢	离子渗氮	169	1.00	177	8
45 碳钢	离子渗氮	251	0.50	281	30
45 碳钢	氮碳共渗	230	0.30	256	26
40Cr	催渗	251	0.45	290	39
25Cr2MoV	催渗	268	0.40	304	36
42CrMo	离子渗氮	215	0.55	256	41
42CrMo	气体渗氮	262	0.55	304	42
34CrNiMo	离子渗氮	290	0.55	328	38
34CrNiMo	气体渗氮	281	0.55	311	30
38CrMoAl	离子渗氮	268	0.45	304	36
38CrMoAl	气体渗氮	256	0.50	290	34
15Cr11MoV	催渗	268	0.33	300	32

B.3　表 B.3 为磨损试验规范与结果。

表 B.3　磨损试验规范与结果

疏松级别	试样编号	转速 /(r/min)	压力 /N(kgf)	润滑剂	磨损时间 /min	力矩 /cm·N(cm·kgf)	磨痕深度 /μm	显微硬度 HV0.05
1	11 组	200	49.0（5）	L-A N15（10 号机油）	5	9.8（1）	1	460～480
2	机二						1.5～2.0	289～271
3	5 组						3	260～271
4	8 组						6	120～148.3
5	6 组						10.5	63.2～65.2

B.4　表 B.4 为不同渗氮工艺处理的光滑和缺口试样的疲劳强度。

表 B.4　38CrMoAl 钢经不同渗氮工艺处理的光滑和缺口试样的疲劳强度（单位：MPa）

试样类型	渗　氮　工　艺							
	原材料（调质）	(480～500)℃ ×20h 渗氮 热分解氨	(520～540)℃ ×4h 渗氮 热分解氨	(520～540)℃ ×20h 渗氮 热分解氨	(520℃×8h + 560℃×12h) 渗氮热分解氨	(560～580)℃ ×20h 渗氮 热分解氨	(600～620)℃ ×8h 渗氮 热分解氨	(520～540)℃ ×20h 渗氮热分解氨 + 氢稀释
光滑	388.3 (39.6)②	506.0 (51.6)	494.3 (50.4)	517.8 (52.8)	506.0 (51.6)	517.8 (52.8)	506.0 (51.6)	517.8 (52.8)
缺口①	272.1 (27.8)			603.1 (61.5)		598.2 (61.0)	598.2 (61.0)	603.1 (61.5)

①　缺口试样缺口处圆角半径 $r=0.75$mm，应力集中系数 $K_t=1.63$，按疲劳试样的标准尺寸加工的。

②　括号中的数据为单位为 kgf/mm² 时的 σ_{-1} 值。

B.5 表B.5为38CrMoAl钢不同渗氮工艺试样表面脆性的综合分析。

表B.5 38CrMoAl钢不同渗氮工艺试样渗氮层脆性的综合分析

渗 氮 工 艺	化合物层硬度 HV0.1	化合物层相组成	离子探针测氮浓度（N^+/Fe^+强度比）	出现第一条裂纹时		维氏硬度压痕碎裂情况
				F /N（kgf）	δ /mm	
890℃×20min淬油，670℃×2h回火后渗氮处理：520℃×20h+560℃×20h，氨分解率35%～40%	1004～1098	$Fe_3N+\gamma'$	1.5×10^{-2}	19122.9（1950）	0.731	压痕边角完整 不脆 1级
890℃×20min淬油，670℃×2h回火后渗氮处理：520℃×40h，氨分解率28%～35%	882～1098	$Fe_3N+\gamma'$	1.8×10^{-2}	18132.4（1849）	0.684	压痕一边碎裂 略脆 2级
930℃×20min淬油，670℃×2h回火后渗氮处理：520℃×20h+560℃×20h，氨分解率35%～40%	1132	$Fe_3N+\gamma'$	2.17×10^{-2}	17485.2（1783）	0.663	压痕二边碎裂 较脆 3级
930℃×20min淬油，670℃×2h回火后渗氮处理：520℃×40h，氨分解率28%～35%	1046～1098	$Fe_3N+\gamma'$	—	17112.5（1745）	0.650	压痕二边碎裂 较脆 3级
890℃×20min淬油，670℃×2h回火后渗氮处理：（500～505）℃×72h，氨分解率18%～25%	1132	$\varepsilon+\gamma'$	2.6×10^{-2}	13769.0（1405）	0.538	压痕三边碎裂 很脆 4级
1050℃×20min淬油，670℃×2h回火后渗氮处理：（500～505）℃×72h，氨分解率18%～25%	1206	$\varepsilon+\gamma'$	—	14562.8（1485）	0.553	压痕三边碎裂 很脆 4级
890℃×20min炉冷，退火脱碳，渗氮处理：（500～505）℃×72h，氨分解率18%～25%	1132	$\varepsilon+\gamma'$	2.85×10^{-2}	7825.7（798）	0.364	压痕四边碎裂 极脆 5级
890℃×20min炉冷，退火脱碳，渗氮处理：520℃×40h，氨分解率28%～35%	1132	$\varepsilon+\gamma'$	—	极脆	0	压痕四边碎裂 极脆 5级

注：上述数据均为4个试样的平均值。

第十四节 钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定

一、概论

1989年3月起，我国实施了GB/T 9451—1988《钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定》。在此之前除GB/T 5617—1985《钢的感应淬火或火焰淬火有效硬化层深度的测定》外，我

国还没有单独的硬化层测量标准。硬化层的测定往往依附于有关的金相标准中。当时我国通用的硬化层标准测量方法及范围与国际通用的 ISO 4970 标准技术相差较大，而世界上大多数工业发达国家都等效采用 ISO 4970。为尽快与国际接轨，我国于 1988 年开展有关工作，等效采用了 ISO 4970：1979《钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定》，并以 GB/T 9451—1988《钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定》发布实施。2005 年，修改采用 ISO 4970：1979（E），对 GB/T 9451 进行修订，标准编号为 GB/T 9451—2005。

二、标准应用说明

1. 本标准的条文规定及技术数据确定依据

ISO 4970 有关条款中规定，零件硬化层深度测量一般采用显微组织测量法或显微硬度测量法，测量结果同等有效；也规定了五种形式的试样，各类试样硬化层的测定结果同等有效。但在什么条件下采用哪一种测量方法，测量结果有何差异及各种形式试样对硬化层测量精度的影响等，目前还没有相关文件具体说明，我国也未做过有关的验证。根据我国 30 个单位对编制《钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定》的反馈意见，以及为了对 ISO 4970 有关技术规定全面准确了解，以便于编制我国国家标准，组织了有关工厂进行了必要的验证试验。

（1）在标准适用范围中，把氮碳共渗及渗氮处理后硬化层作为本标准检验范围。一般情况下，这两种工艺处理后的硬化层由化合物层和扩散层组成，而扩散层与基体金属间有较明显过渡区（指显微组织或显微硬度）。ISO 4970 未明确氮碳共渗、渗氮处理后硬化层是否属于标准检验范围。

（2）本标准不适用于硬化层与基体金属之间无明显过渡区的零件测量。这里指用普通金相显微镜，在常用的放大倍率（100 ~ 500 倍）下观察硬化层的显微组织与基体金属间是否存在连续变化区域（过渡区），或用显微硬度计检验时硬化层的硬度值，在到达基体金属之间是否连续变化（过渡区）。例如：零件渗金属处理（渗铬、渗钒、渗钛、镀铬、渗硼等）后硬化层与基体金属间不存在连续变化区域，这些硬化层不属于本标准检验范围。

（3）本标准术语中对零件总硬化层深度及有效硬化层深度的定义，是适合各种强化工艺的硬化层广义的概念，测量硬化层时，应按照我国现行有关检验标准定义测定，如感应淬火及火焰淬火硬化层有效深度，应按 GB/T 5617 定义测量，渗氮处理或氮碳共渗按 GB/T 11354 定义测量等。本标准所采用总硬化层或有效硬化层概念，实际上在目前国内有关检验标准中已分别采用。如用显微组织测量法测定合金钢渗碳、碳氮共渗、氮碳共渗、渗氮处理硬化层时，就是测量的总硬化层深度。当采用显微硬度法测量感应淬火或火焰淬火、渗碳、碳氮共渗、氮碳共渗、渗氮处理硬化层时，则是测量的有效硬化层深度。

（4）本标准的测量方法中规定了显微组织测量法和显微硬度测量法，两种方法同等有效。在检验硬化层时选用哪一种方法测量，一般应根据技术条件所要求测量精度，硬化层的深度及性质（对两种测量方法适应性），及有关行业习惯采用的方法确定。例如要求测量的硬化层作为仲裁结果或检验试样批量很少，硬化层对浸蚀剂不敏感，或浸蚀层与基体金属不易区别等，可采用显微硬度法测量。对一般检验批量较大的常规检验，用显微组织测量法则较便利。

由于两种方法对硬化层测量结果差异较明显（据各单位验证试验渗碳、碳氮共渗、氮碳共渗、感应淬火等用两种方法测量硬化层深度之间差别，一般≤0.1mm），所以选用何种方法测量硬化层深度，必须由有关各方预先商定。

（5）本标准规定了五种试样形式，其中三种（纵截面圆试样、斜截面试样、有槽斜截面试样）作为间接测量硬化层时采用，测量精度较高，试样的制备也较严格，五种试样测量结果应同等有效。选用何种形式试样测量，应根据硬化层的深浅及测量单位加工条件，经双方协商确定。对硬化

层很浅的零件（如0.2mm）采用间接测量为好，它的测量结果较容易保证，测量的累积距离精度达到±25μm。

（6）关于斜截面试样：ISO 4970 认为斜截面夹角 α 不易测量，尽可能采用有槽斜截面试样，本标准不强调采用有槽斜截面试样。根据一般工厂加工条件及我们对大量斜截面试样加工和测量夹角 α 的数据表明：在一般平面磨床上加工夹角 α，可保证夹角误差 < ±0.5°，一般误差在20′左右。这样一般情况下可使硬化层测量误差小于0.02mm，而且加工斜截面试样不需每次测量夹角 α（在靠模上加工）。

本标准建议夹角 α 不大于12°，这样可使0.1～0.3mm 硬化层零件，在实际测量时测量距离在0.57～1.7mm 范围，可以保证本标准所规定的测量精度。

（7）关于显微硬度测量法的显微硬度计的试验力，国际标准规定试验力一般用2.94N（0.3kgf），但根据我国实际情况，目前大多数工厂所用显微硬度计，最大试验力为1.96N（0.2kgf）。又据以前对显微硬度计的试验力与硬度值关系测试结果，1.96N（0.2kgf）～2.94N（0.3kgf）之间的试验力对硬度值影响很小。因此，本标准规定采用显微硬度测量时，一般情况下试验力为1.96N（0.2kgf）～2.94N（0.3kgf）。

2. 几点建议及应注重的问题

（1）国外已普遍将钢的硬化层深度测定范围0.3mm 定为分界限，对大于0.3mm 的硬化层，往往有两种测量标准。由于测量方法或测量技术参数不同，因而测量精度不同。如 ISO 3754：1976《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》，ISO 2636：1982《钢的渗碳淬火后有效硬化层深度测定》适用测量硬化层 >0.3mm。而 ISO 4970：1979《钢件薄表面总硬化层深度及有效硬化层深度的测定》是适用于硬化层≤0.3mm 的检验。我国以前硬化层检验标准及设计人员都未明确此概念和规定，一些技术图样对渗碳或碳氮共渗零件硬化层深度规定范围往往跨0.3mm 两头，如0.2～0.4mm、0.1～0.5mm、0.2～0.6mm 等，这样对检验标准的确定引起争议，零件测量精度也不能保证。今后设计人员确定硬化层深度范围应以0.3mm 为分界限。

（2）目前我国一些相关标准（如渗碳及碳氮共渗金相检验标准），规定零件表面碳浓度≥0.8%，这个规定对薄硬化层的检验不切实际。根据各验证单位测定渗碳或碳氮共渗零件表面 *w*（C）一般在0.45%～0.6%，最高0.65%。据上海自行车三厂分析，意大利、日本等国渗碳零件表面 *w*（C）一般为0.55%，淬火后表层硬度仍可达750～800HV。因此，目前渗碳或碳氮共渗金相、检验标准中有关表面碳势的规定，只适用于渗层深度 >0.3mm 的零件检验。

（3）本标准采用横截面、斜截面、有槽斜截面试样，后两种试样测量精度明显高于横截面试样，但保证测量精度的关键是加工试样夹角 α 误差≤20′，这对于一般有机械加工条件的工厂，是能够做到的。（上海乾通汽车附件有限公司董惠明供稿）

三、标准内容（GB/T 9451—2005）

钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定

1 范围

本标准规定了钢制零件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的定义及其测定方法。

本标准适用于表面总硬化层深度或有效硬化层深度小于0.3mm 的钢制零件。

本标准不适用于硬化层与基体金属之间无过渡层的零件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所

有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 4340.1—1999　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法

GB/T 7232—1999　金属热处理工艺术语

GB/T 9450—2005　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 18449.1—2001　金属努氏硬度试验　第1部分：试验方法

3　术语和定义

GB/T 7232 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　总硬化层深度　total thickness of hardened layers

从零件表面垂直方向测量到与基体金属间的显微硬度或显微组织没有明显变化的那一硬化层的距离。

3.2　有效硬化层深度　effective thickness of hardened layers

从零件表面垂直方向测量到规定的某种显微组织边界或规定的显微硬度值的硬化层距离。

4　测量方法

选择的测量方法及精确度取决于硬化层的性质和估计的厚度。由于使用方法会影响测量结果，因此选择何种方法及试样形式，必须由有关各方协商确定。

4.1　显微组织测量法

根据零件处理后所导致零件表面至心部显微组织的变化，测定零件的总硬化层深度或有效硬化层深度。

4.1.1　试样的选择及制备

——横截面：垂直于零件纵轴的截面，如果零件没有纵轴，则取垂直于表面的截面。

——纵截面：沿圆棒轴方向加工，深度为1mm或其他深度的纵截面（图1）。

——斜截面：加工成的斜截面与试样表面的夹角 α 根据硬化层深度确定，硬化层越薄，夹角 α 越小。建议夹角 α 不大于12°（图2）。

——有槽斜截面：其槽沟深度接近估计的硬化层深度（图3）。

试样截面尺寸小于 4.0cm^2 时，应对周边各处进行测定。试样尺寸大时，应选择几个有代表性的部位测量。

试样在进行磨制和抛光时，应防止截面边沿磨成圆角。防止改变斜截面的角度。因此试样应镶嵌或在夹具中固定，必要时试样表面上可电解沉积金属镀层给予保护。一般用2%～4%硝酸酒精溶液或其他适当的侵蚀剂显示试样的显微组织。

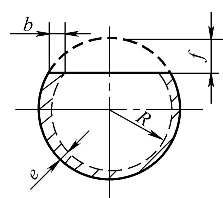


图1　机械加工平面得到的纵截面试样

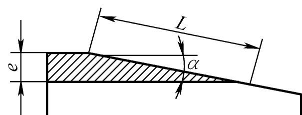


图2　斜截面试样

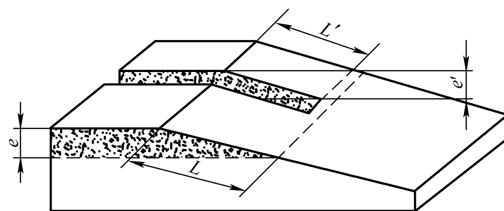


图3　有槽的斜截面试样

4.1.2 测量

使用显微镜或直接在显微镜投影屏上测定总硬化层深度或有效硬化层深度。一般情况下，推荐的最小放大倍率为200倍。通过在低倍率下初步检验，以确认沿检验周边的薄层深度没有明显变化。

选择硬化层较均匀的表面，并取数个（5个）相隔有规律的点进行测量，这些测定数据的平均值为总硬化层深度或有效硬化层深度。

——纵截面圆试样（图1）硬化层 e 由式（1）求出：

$$e = R - \sqrt{R^2 + b^2 - 2b\sqrt{2Rf - f^2}} \tag{1}$$

式中 R——试样半径；

b——平面上测量的距离；

f——平面深度。

如果平面深度 f 为1.00mm时，上式可简化如下：

$$e = R - \sqrt{R^2 + b^2 - 2b\sqrt{2R - 1}} \tag{2}$$

——斜截面试样（图2）硬化层 e 由式（3）求出：

$$e = L\sin\alpha \tag{3}$$

式中 L——测量距离；

α——斜面角度。

——有槽的斜截面试样（图3）硬化层 e 由式（4）求出：

$$e = e'\frac{L}{L'} \tag{4}$$

式中 e'——槽沟的深度；

L——测量的距离；

L'——斜截面槽沟的长度。

4.2 显微硬度测量法

本方法可按GB/T 4340.1、GB/T 9450、GB/T 18449.1的规定，根据零件热处理后由零件表面至心部维氏显微硬度的变化，测定零件的总硬化层深度或有效硬化层深度。

4.2.1 试验力

显微硬度的测量所选用的试验力一般为1.96N（0.2kgf）~2.94N（0.3kgf）。当硬度压痕尺寸与硬化层的深度不匹配时，经有关各方协议也可采用其他范围的试验力测量。

4.2.2 试样的选择和制备

——试样形式与4.1.1条中所采用的试样相同。

台阶试样：试样台阶必须研磨加工，各台阶高度为0.05mm或0.10mm（图4）。在加工台阶时，应采用保护措施以防止引起由于研磨而造成的任何组织变化。当确定硬化层深度的极限时才使用台阶试样。

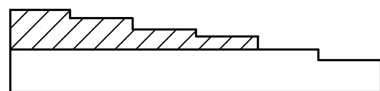


图4 台阶试样

——试样制备与显微组织测量完全相同，但为了便于测量压痕对角线，试样不进行腐蚀。

4.2.3 测量

——硬度测试应在宽度（W）为1.5mm的区域内并与表面垂直的一条或多条平行线上进行

（图5），最靠近表面的硬度压痕中心与试样表面的距离（d_1）应不小于压痕对角线长的2倍，两相邻压痕间的距离（s）应不小于压痕对角线的2.5倍，从表面到各逐次压痕中心之间的距离，每次增加不超过0.1mm（如：d_2-d_1 应不大于0.1mm）。测量累积距离精确度为 ±25μm，压痕对角线测量精度为 ±75μm，用放大倍率400左右的光学仪器测量。

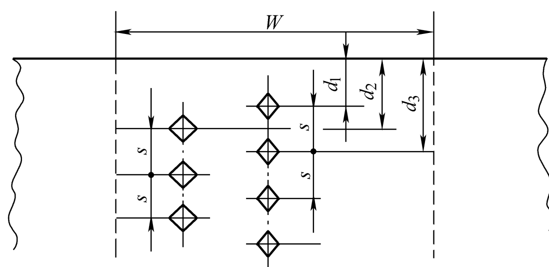


图5　显微硬度压痕的定位

测量是在有关各方协议的两个部位上进行，每个部位测定结果都应绘制一条相对于表面距离的硬度变化曲线。

——纵横面圆试样、斜截面试样、有槽斜截面试样的硬化层 e 按4.1.2的相应公式计算。

5　试验报告

试验报告应包括以下内容：

a）零件名称、材料及热处理状态；

b）检验部位及试样形式；

c）采用的测量方法；

d）测量硬化层的类型（总硬化层或有效硬化层）；

e）硬化层深度的测定结果；

f）检验时发现的异常现象。

第十五节　钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定

一、概论

长期以来，我国没有相应的钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定国家标准，只有在《汽车感应淬火零件金相检验》标准中，附有感应淬火零件硬化层深度测定方法，即采用显微组织对比测量方法。这是将淬火后的零件制备成金相样品与标准金相组织图对照测定，从试样表面测至50%马氏体处的距离作为零件硬化层深度。如果50%马氏体处的铁素体含量大于20%，则测至20%铁素体处。这种方法由于在50%马氏体处组织变化、硬度值变化都相对较大，所以在实际生产中一直沿用。在20世纪60年代以前，国际上通常也采用该方法测定工件硬化层深度，如苏联、日本等国。但是，采用显微组织对比测量的方法，在实施过程也存在不少弊端。在显微镜下对所谓的50%马氏体的界定实际上受制于诸多因素。首先是观察者的经验，因为实际在光学显微镜下是很难准确判断所谓的50%马氏体的含量；其次是样品制备质量，如浸蚀度是否恰当；第三，受制于样品本身的化学成分和热处理的工艺状态，如回火程度、过渡区硬度梯度等。

同时，随着感应加热工艺、设备不断发展完善，感应热处理应用范围也迅速扩大，几乎包括了所有钢种。例如，日本JIS B6912《钢铁高频淬火回火处理》推荐100余种，我国JB/T 9201《钢铁件的感应淬火及回火处理》推荐116种钢种。感应淬火钢的 w（C）为0.15%～1.2%，而且在有关的钢件感应淬火回火工艺标准中，还明确规定了工件硬度层深度测算精度及工件硬度波动范围。例如，日本JIS B 6912，我国JB/T 9201及JB/T 9200等都规定单件工件硬化层≤1.5mm时，层深波

动范围为0.2mm等。以前的《汽车感应淬火零件金相检验》标准仅适用于工件 w（C）为0.3%～0.45%的碳钢及合金钢。

综上所述，采用金相法（即显微组织对比）测量硬化层深度，由于受诸多因素影响，呈现出测量精度、重复性、可靠性都较差，已明显不适应热处理技术发展的要求。

20世纪60年代末70年代初开始，世界各主要工业化国家，都采用以硬度法为测量基础的硬化层测定方法。硬度法相对于金相法更直接反映感应淬火或火焰淬火后从表面至心部的硬度变化，由此确认的硬化层深度更合理、更正确，精度重复性可靠性更高，也适应了感应淬火、火焰淬火工艺制备的发展及生产现状。

目前世界各主要工业化国家，采用ISO的硬化层测定标准有三种不同情况：①本国不再制定硬化层测定标准，直接采用ISO 3754，如美国、英国等。②本国制定有硬化层测定标准，但在标准中主要技术参数，具体的测量方法按照ISO 3754，仅在测量精度、应用范围等方面与ISO 3754有所不同，即等效采用ISO 3754的国家，如德国、法国等。③根据本国具体情况制定硬化层测定标准，主要技术参数（硬度极限确定或试验力范围）不同于ISO 3754。如日本、瑞典、澳大利亚等国参照采用ISO 3754。尽管世界上主要工业化国对ISO 3754有三种不同态度，但共同点是以硬度测量为基础，用显微硬度计定量测量硬化层深度，硬化层精度达0.025～0.1mm。

钢的感应淬火及火焰淬火工艺在生产中应用越来越广泛，而淬火后零件硬化层深度的测定方法，在GB/T 5617实施前是不统一的。制定并实施该标准，改变了长期以来我国没有相应的测定标准的状况。GB/T 5617—2005是对GB/T 5617—1988的修订，非等效采用ISO 3754：1976《钢火焰淬火或感应淬火后有效硬化层深度的测定》。

二、标准应用说明

1. ISO 3754标准的三条最基本规定

（1）ISO 3754适用于测量经感应淬火或火焰淬火后硬化层深度大于0.3mm的工件。本条规定基本适用于在一般高频感应加热设备上加热的工件所能获得最小透热深度。

（2）ISO 3754规定，工件被测定的硬化层深度是有效硬化层深度（DS），是指从工件表面至维氏硬度等于规定硬度值（极限硬度 HV_{HL}）处的垂直距离。工件的极限硬度值是指工件的技术图样或技术资料所要求的最小表面硬度的0.8倍。显然，工件所测得的硬化层深度是工件在服役条件下所要求硬度的函数。硬化层内各点硬度值，都达到或接近该工件技术要求硬度范围，所以这种测量结果直接反映工件质量指标。

（3）ISO 3754还规定，只有距离工件表面3×DS（有效硬化层深度）处的硬度低于极限硬度减去100时，所测得硬化层深度才满足硬化要求。否则须经有关各方协商确定更高极限硬度值，以满足本条规定。这条规定实质上是要求工件硬化层的硬度与工件心部硬度间保持一个最小硬度差值。在正常情况下工件经感应淬火后硬化层能满足这条规定。但下列几种情况产生时，被测工件有可能不能满足本条要求：当工件感应淬火后表面硬度明显低于该钢种淬硬后应达到的最小硬度；工件感应淬火前的预处理硬度明显不合理，如工件调质处理后硬度过高等；感应加热工艺明显不合理。如工件要求硬化层较深，当感应加热设备频率不能满足技术要求时，不是用改变频率方法增加工件透热深度，而用延长加热时间，依靠热传导增加透热深度，工件所获得硬化层有可能不能满足本条款要求。

2. 关于具体测量方法

ISO 3754规定在淬火状态的零件垂直横截面上进行测量，在宽度为1.5mm区域内，压痕应在垂直于一条或多条平行线上，从表面到各逐次压痕之间距离应依次增加0.1mm，直至测量到极限

硬度。离表面最近的压痕与表面的距离不小于0.15mm。硬度的测量是在9.8N（lkgf）的试验力下进行，根据协议也可不采用9.8N，但应在4.9～49N（0.5～5kgf）范围内的试验力测量。

3. 关于测量硬化层深度的试验力的确定

目前国内外有关热处理标准中已明确规定硬化层硬度允许波动的范围，以保证产品质量。而显微硬度计测量硬度时，实际上试验力大小会影响硬度值测量精度。因此，ISO 3754 明确规定硬化层的测量是在9.8N的试验力下进行的，即使在各方协商认可前提下，也只能选用4.9～49N试验力时测量结果才有效。

从维氏硬度值误差与试验力关系试验结果（见图4.15-1）可以看出，当700HV时（其材料真实硬度值），读数误差为±0.5μm或±1.0μm，采用9.8N试验力测量硬度最接近于真实硬度值。试验力越小，误差越大。从图4.15-2可知，当试验力为9.8N，硬度为742～414HV时，压痕对角线长为50～67μm，当压痕对角线小于50μm后，误差产生突变，差值大于10%，当试验力为98N，硬度值为742～412HV时，压痕对角线为112～150μm。一般硬化层过渡区在0.2～0.6mm，这区域显微组织对硬度敏感很大，压痕对角线太长，测量硬化层精度不易达到0.025～0.1mm要求。看来选用9.8N试验力作为测定硬化层的标准试验力，既能保证硬度值的精度，也保证硬化层深度的精度要求，所以ISO 3754规定，即使在协商的条件下，试验力也只能选4.9～49N。

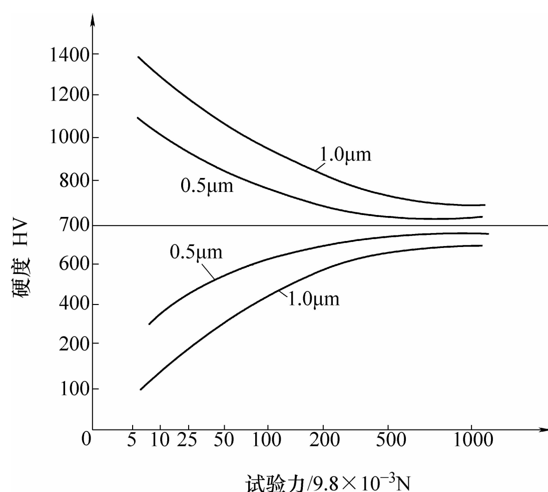


图4.15-1　700HV时各种试验方法、读数误差对硬度的影响

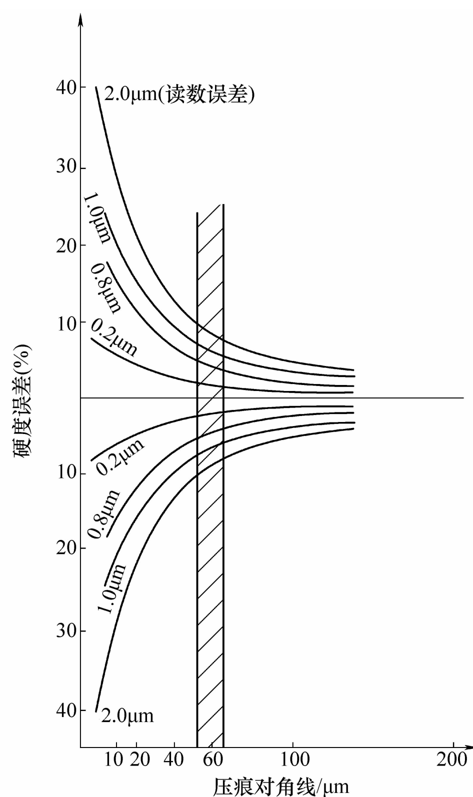


图4.15-2　压痕对角线对硬度误差的影响

日本大多数学者认为：在低试验力范围内用不同试验力测得的硬度值仍符合相似法则，但要控制测量误差。反映在JIS标准中，规定试验力为0.98～9.8N范围内测量硬化层，而不是一个恒定试验力。但日本在实际应用中，试验力多采用2.94N或2.94N以上。日本认为JIS硬化层测量标准与ISO标准差异不大，但据我们试验结果，差异还是较明显的。

4. 本标准新修改的两方面内容

本标准修订时调查和收集了全国对GB/T 5617—1985的贯彻执行情况，尤其是有关重点企业单

位的反馈意见。在此基础上做了两方面的修改。

（1）对原标准中部分条款的内容做了文字性修改，使之更规范、更准确，尽量避免理解上的多义性。

（2）在贯彻执行原国标的实践中，许多企业运用校核法。在已大致确定有效硬化层深度的情况下，采用内插法校核有效硬化层的深度。这个方法在实践中证明不仅简便实用，而且更加有利于提高深度测定的准确性。因为真正对测量结果“DS”相关的是硬度值分别小于和大于 HV_{HL} 的 d_1 和 d_2。校核法规定了在 d_1 和 d_2 处与表面平行方向至少各测 5 个点，然后取其算术平均值 $\overline{H}_1$ 和 $\overline{H}_2$。这样测得的结果更准确地反映出有效硬化层的深度。（上海乾通汽车附件有限公司董惠明供稿）

三、标准内容（GB/T 5617—2005）

钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定

1 范围

本标准规定了钢制零件经过感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度（DS）的含义及其测定方法。

本标准适用于感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度大于 0.3mm 的零件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1—2004 金属洛氏硬度试验 第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）（ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 4340.1—1999 金属维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法

GB/T 7232—1999 金属热处理工艺术语

GB/T 9450—2005 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 18449.1—2001 金属努氏硬度试验 第 1 部分：试验方法

3 术语和定义

GB/T 7232 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

极限硬度 limiting hardness

一般为零件表面所要求的最低硬度（HV）的 0.8 倍。如下式所示：

$$HV_{HL} = 0.8HV_{MS} \qquad (1)$$

式中 HV_{HL}——极限硬度；

HV_{MS}——零件表面所要求的最低硬度。

注：经有关各方协议，可采用其他极限硬度值，也可按 GB/T 230.1—2004 规定测定（前提是要规定极限硬度值）。

4 一般规定

4.1 感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度用“DS”表示，单位为 mm。表达方式见示例。

示例：有效硬化层为 0.5mm，可写成 DS = 0.5mm。

4.2 感应淬火或火焰淬火后的零件，在距离表面三倍于有效硬化层深度（DS）处的硬度，应低于极限硬度 HV_{HL} 减去 100。有争议时，经各方协议，可采用较高的极限硬度值测定有效硬化层深度。

4.3　感应淬火或火焰淬火后有效硬化层的硬度测定采用负荷为9.8N（1kgf）。按有关各方协议，也可采用4.9N（0.5kgf）～49N（5kgf）的负荷和其他极限硬度值，应在字母后面标注（见示例）。

示例：选定负荷为4.9N（0.5kgf），极限硬度值采用零件所要求的最低表面硬度值的0.9倍，测得有效硬化层深度为0.6mm，可写成DS4.9/0.9=0.6mm。

4.4　在有争议的情况下，本标准所规定的测定感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的方法是唯一的仲裁方法。

5　测量

测量应在规定表面的一个或多个区域内进行，并应在图样上标明，同时应符合GB/T 4340.1、GB/T 18449.1的有关规定。

5.1　测量原理

用图解法在垂直表面横截面上根据硬度变化曲线来确定有效硬化层深度。该硬度曲线图显示零件横截面上的硬度值随着表面的距离增大而发生的变化。

5.2　测量方法

一般规定在淬火状态的零件横截面上进行测量。经各方协议也可用与零件硬化部位同一形状、尺寸、材料及热处理条件的试样上进行测量。

5.2.1　测量面的制备

垂直淬硬面切断零件，切断面作为检验面，检验面应抛光到能够准确测量硬度压痕尺寸。在切断和抛光过程中注意不能影响检验面的硬度，并不可使边沿形成圆角。

5.2.2　硬度的测定

硬度应在垂直于表面的一条或多条平行线（宽度为1.5mm的区域内）上测定（见图1）。

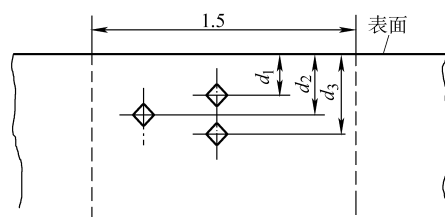


图1　硬度压痕的位置

最靠近表面的压痕中心与表面的距离（d_1）≥0.15mm，从表面到各逐次压痕中心之间的距离应每次增加≥0.1mm（例如d_2-d_1应≥0.1mm）。表面硬化层深度大时，压痕中心之间的距离可增大，在接近极限硬度区附近，应保持压痕中心之间的距离≥0.1mm。

5.3　测量结果的表述

5.3.1　由绘制的硬度变化曲线，确定零件表面到硬度值等于极限硬度的距离，为有效硬化层深度。

5.3.2　一个区域测定多条硬度变化曲线时，应取各曲线测得的有效硬化层深度的算术平均值作为有效硬化层深度。

6　校核

当有效硬化层深度已大致确定时，按GB/T 9450规定可采用内插法校核有效硬化层深度（见示例）

示例：在某深度的范围内设定d_1和d_2，d_1和d_2分别小于和大于已设定的有效硬化层深度。（d_2-d_1）值不超过0.3mm。在距表面d_1和d_2的距离处，同表面平行方向至少各测五个点。

有效硬化层深度（DS）由下式给出：

$$DS = d_1 + \frac{(d_2 - d_1)(\overline{H}_1 - HV_{HL})}{\overline{H}_1 - \overline{H}_2} \tag{2}$$

式中　$\overline{H}_1$——d_1处硬度测定值的算术平均值；

$\overline{H}_2$——d_2处硬度测定值的算术平均值。

7 试验报告

试验报告应包括以下：

a）零件名称、材料及热处理状态；

b）检验部位；

c）有效硬化层深度的测定结果；

d）检验时发现的异常情况。

第十六节　渗硼层显微组织、硬度及层深检测方法

一、概论

渗硼层具有高硬度、高耐磨及抗疲劳性能，还具有在硫酸和碱溶液中良好的耐蚀性，因而广泛地应用在机械工业中，尤其在石油化工标准件产品的生产中。渗硼工艺自20世纪60年代引入熔盐后，更拓宽了它的应用范围。由于在熔盐中渗硼，设备简单，操作方便，渗后又可以直接淬火，所以被普遍采用。

无论采用何种工艺处理的渗硼件，都要进行质量检查。对渗硼类型、渗硼深度、渗硼组织和硬度进行测定和检验。本标准就是为了适应这一要求而制定的。

在标准制定过程中，收集到的国外的资料只是一些零散的方法和参数，没有统一的标准。

我国自20世纪80年代相继制定了化学热处理金相标准，如渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗铬、渗金属及离子渗氮等，本标准是其中之一。本标准于1995年制定，2007年对其进行了修订。

二、标准应用说明

1. 渗硼层试样的制备

渗硼层试样一般按照JB/T 5069《钢铁零件　渗金属层金相检验方法》进行制备。但由于渗硼层硬度较高，脆性较大，所以在砂轮打磨时要手持平稳，用力要轻，以免产生很多人为的横向裂纹，严重者则使试样渗硼层剥落。在手工磨制时，为了减少渗硼层剥落，可将试样倾斜45°。

2. 试样的侵蚀

用2%～4%硝酸酒精侵蚀。为了区分渗层中的FeB和Fe_2B相，需采用三钾试剂（见标准中的4.3条）。三钾试剂可明显的区分FeB和Fe_2B相，还可以确定渗硼层类型。一般来说，FeB颜色较深，而Fe_2B颜色较浅。但随着时间延长或温度的提高，它们的颜色会反转过来，即FeB的颜色变为灰褐色而Fe_2B为棕黄褐色。因此，必须严格地掌握温度和时间。不过表面的一层不论是什么颜色，肯定是FeB相，因为它的硼含量高于Fe_2B相，这一点是不会变化的。

3. 显微组织

钢铁渗硼后，随着硼含量的升高依次可得到α、ε、ζ和η相。α相为硼在铁中的固溶体，其他相均为金属间化合物。ε相（Fe_2B，体心立方）硼含量为8.8%（质量分数），ζ相（FeB，斜方点阵）硼含量为16.2%（质量分数），η相（斜方点阵）硼含量为72%（质量分数）。

一般在渗硼时，ε相和ζ相优先生成，η相被抑制而不出现。渗硼层可以由单相Fe_2B组成，也可以由双相（$FeB+Fe_2B$）组成。这要取决于渗硼层中含硼量及渗硼处理工艺（介质、还原剂、温度、时间）等。

渗硼时，硼在两种铁硼化合物中的扩散，都是沿c轴进行。由于它的择优扩散，使晶粒沿c轴迅速生长而形成深深楔入基体的“指状”或“齿状”结构。这种形态加强了渗层与基体的结合，

提高了渗层的抗冲击、耐磨性能。当钢中含碳量较低时，“指状”结构明显。随着含碳量的增加，“指状”逐渐变得短粗，而形成“齿状”结构。因此，从渗硼层的形状也能大概看出基体的碳含量。

渗硼时，由于形成硼铁化合物层，所以碳和其他合金元素都挤向内部，而在渗硼层下形成增碳层。20 钢渗硼后，在渗层后面也有着非常明显的增碳区。其原因是硼有抑制铁素体从奥氏体中析出的倾向，尽管增碳区未达到共析碳含量，过渡区也会是均匀的珠光体，但与基体有明显的界限。增碳区的深度与基体成分有关。

基体中除碳以外的其他合金元素，也要重新分布，也有着明显的影响。钛、钼、硅、镍及铬会减薄增碳区；铬和钼元素还能抑制碳和硼对晶粒长大的影响；钛的影响最为明显，可以使渗硼层下完全没有粗大的珠光体晶粒，直接淬火就可以得到较细的马氏体组织；铬、钼、钒等合金元素会在渗硼时形成“指间”或“指尖”碳化物。有些化合物还会留在渗硼层中，在显微组织中能明显的观察到。这种硼铁相为（$(FeM)_2B$）和（FeM）B 相、碳化物相或 M_3（C、B）、M_{23}（C、B）$_6$ 和 M_7（C、B）$_3$等。

合金元素中的硅，在渗硼时也被挤向基体。由于硅是扩大铁素体的元素，在渗硼层之后会形成 α 区带（质量分数为 1% 的硅有此作用），当承受较大载荷时，易塌陷而使渗层剥落。灰铸铁和球墨铸铁也含有较多量的硅，渗硼后也会形成 α 区带。在铸铁中还会将石墨片向后推移，导致在渗层与基体交界处出现较多的石墨片。

随着基体中碳或合金元素的增加，都会使硼的扩散速度减慢。由于硼铁相的生成而使碳或合金元素向内排挤，使得相界面趋于平坦，由“指状”变为“齿状”，降低了渗硼层与基体的结合强度。

关于疏松孔洞，一般认为由于加入了过多量的 NH_4Cl、Si-Fe 和 Na_2SiF_6 而形成。疏松孔洞过多，而连成片或带，会引起渗层剥落，对经受冲击的产品是极为不利的，如冲模等。

4. 渗硼层类型

本标准中将渗硼层类型分为 6 类，这是参考了收集到的中外资料而定的。在日本的资料中，渗硼层分为 12 类。其中的 A 类为单相 FeB，这在实际生产中是不可能出现的；B、C、D 类均为双相层，FeB 相依次减少；E、F 类均为单相层，形态分别为“指状”和“齿状”；G、H、I、K 类为不连续齿或单独齿的单相层；L、M 类分别为界面不整齐的双相或单相层。

5. 渗硼层硬度的测定

渗硼层都在横截面上测定硬度，便于和显微组织同时检验，而且较为准确。可以按 JB/T 5069 制备试样，用三钾试剂侵蚀，在渗层的连续地区（“指”或“齿”的根部）用 1.0N（实际是 0.981N）的试验力按 GB/T 9790 测定。一般 FeB 相为 1800 ~ 2300HV，Fe_2B 相为 1300 ~ 1500HV。当渗层较薄或工件不能破坏时，也允许在工件表面上测定硬度，表面粗糙度 $Ra \leqslant 0.32\mu m$，硬度一般为 1200 ~ 2000HV。

6. 渗硼层深度测量方法

这一方法的主导思想是用金相法测定渗硼层深度，该方法简单、直观、精确，可以与组织检验同时进行。问题的焦点是渗硼层深度测到什么地方，也就是确定渗硼层与基体的交界面的问题。在国内各个生产企业都有自己的方法，在这基础上经过多次验证，最终确定对不同碳含量的钢应采取不同的方法。因此，在制定标准时，对不同碳含量的钢确定了三种方法，主导思想是只有形成了“连续的层”才能起到保护作用，才能称为渗层。

（1）对于碳含量较低的钢［$w(C) \leqslant 0.35\%$］，渗层的“谷”才是连续的，而渗层的“峰”占面积很小，起不到保护作用。因此，在这种钢中，只以渗层“谷”的平均值作为渗层的深度。

（2）对于中碳钢［0.35%＜w（C）≤0.60%］，渗层的“峰”及“谷”值相差较小，可以取相同数量的“峰”和“谷”值的平均值作为渗层深度。

（3）对于高碳钢［w（C）＞0.6%］，渗层的“峰”及“谷”相差极少，渗层基本为“齿状”，较为整齐，可以直接在一个视场内取5点的算术平均值。

测量渗层深度主要是看渗硼层类型，是“指状”还是“齿状”，碳含量可以作为参考，因为基体中的其他合金对渗层形态也有较大的影响。（武汉材料保护研究所李瑞菊供稿）

三、标准内容（JB/T 7709—2007）

渗硼层显微组织、硬度及层深检测方法

1 范围

本标准规定了渗硼层显微组织、硬度及渗层深度的检测方法。

本标准适用于碳钢、合金钢及铸铁等材料的渗硼层，不适用于难熔金属及合金的渗硼层。

2 规格性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232 金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 9790 金属覆盖层和其他有关覆盖层 维氏和努氏显微硬度试验（GB/T 9790—1988，neq ISO 4516：1980）

JB/T 5069 钢铁零件渗金属层金相检验方法

JB/T 9206 钢铁热浸铝工艺及质量检验

3 术语和定义

GB/T 7232 中确立的术语和定义适用于本标准。

4 试样制备

4.1 按 JB/T 5069 制备金相试样。

4.2 打磨时尽量少用或不用砂轮。

4.3 根据不同检测目的，分别采用以下侵蚀剂：

a）为区分 FeB 和 Fe_2B 相采用三钾试剂；

侵蚀剂配比为：

亚铁氰化钾［$K_4Fe(CN)_8 \cdot 3H_2O$］	1g
铁氰化钾［$K_2Fe(CN)_6$］	10g
氢氧化钾（KOH）	30g
水（H_2O）	100mL

侵蚀温度和时间：10～30℃，5～10min 或 60～70℃，1～5min。侵蚀后 FeB 呈棕褐色，Fe_2B 呈浅黄棕色。

b）测量层深采用2%～4%硝酸酒精溶液；

c）测量渗硼层硬度采用三钾试剂，配比及侵蚀条件同 4.3a）。

5　渗层组织

5.1　渗层一般由 FeB 或 Fe_2B 双相组成，也可以由 Fe_2B 单相组成，呈指状或齿状垂直于渗层而楔入基体。指间或齿间相为（Fe、M）xCy 相。

5.2　常用材料为：纯铁、20 钢、45 钢、T8、T12、9CrSi、3Cr2W8、GCr15、2Cr13、球墨铸铁、灰铸铁等。渗硼后的渗硼层形态见图 1，侵蚀剂为三钾试剂。

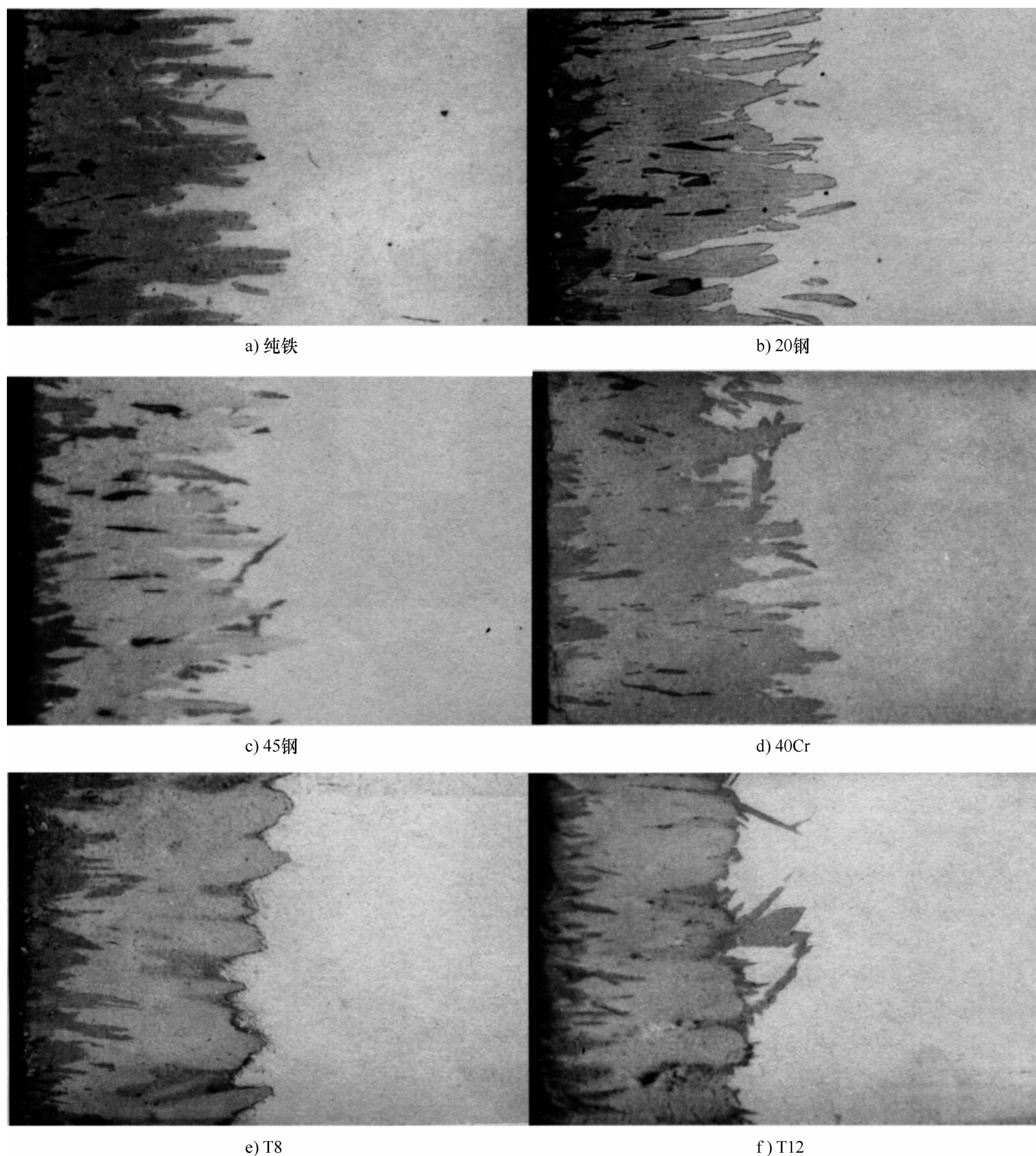
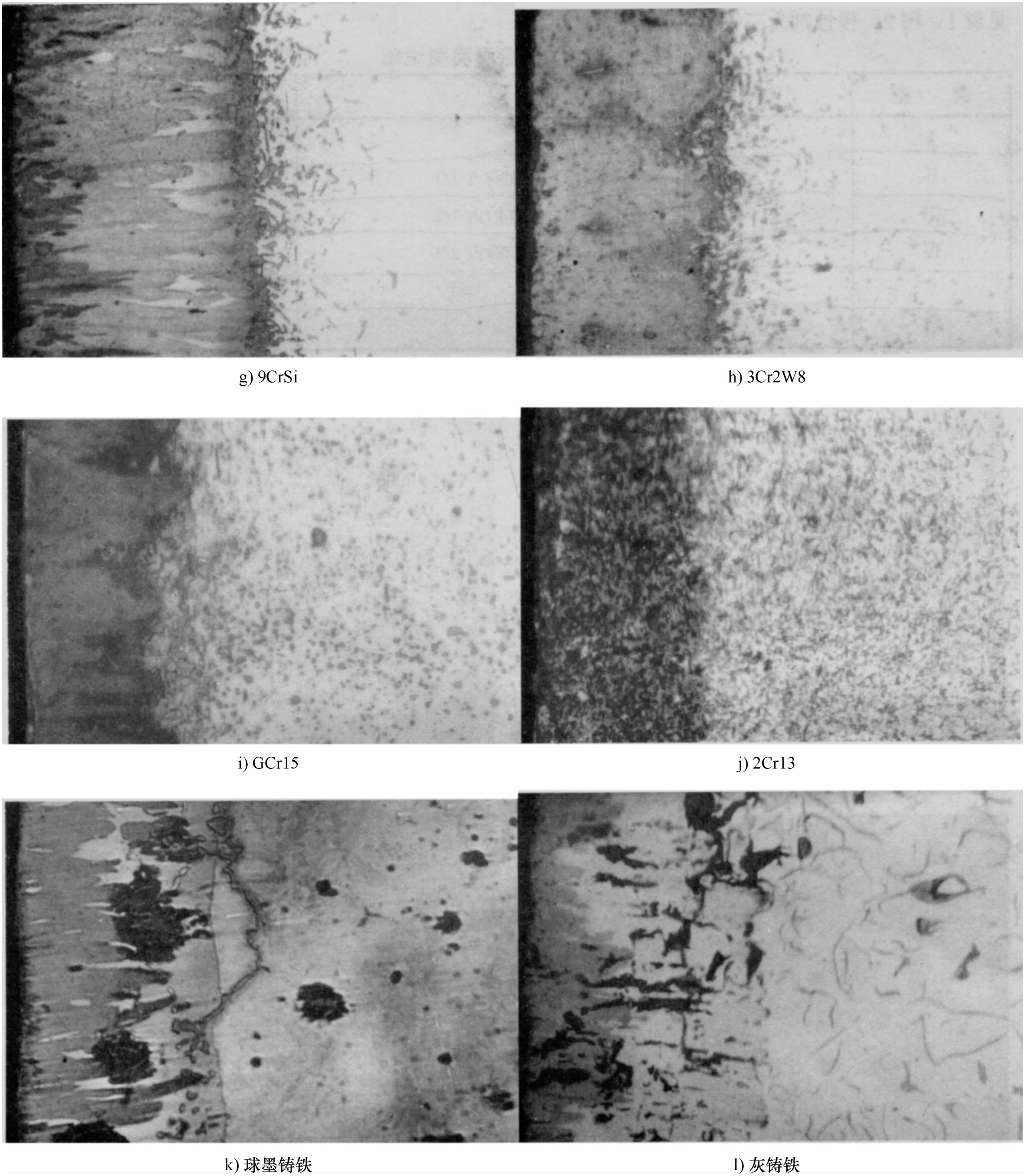


图 1　常用材料的渗硼层形态（×250）



g) 9CrSi　h) 3Cr2W8

i) GCr15　j) 2Cr13

k) 球墨铸铁　l) 灰铸铁

图 1　常用材料的渗硼层形态（×250）（续）

6　渗硼层类型

根据渗硼后获得的单相 FeB、双相（FeB、Fe_2B），相对数量，指状或齿状等不同形态，分为六类，见表 1、图 2。侵蚀剂为三钾试剂。

表 1　渗硼层类型说明

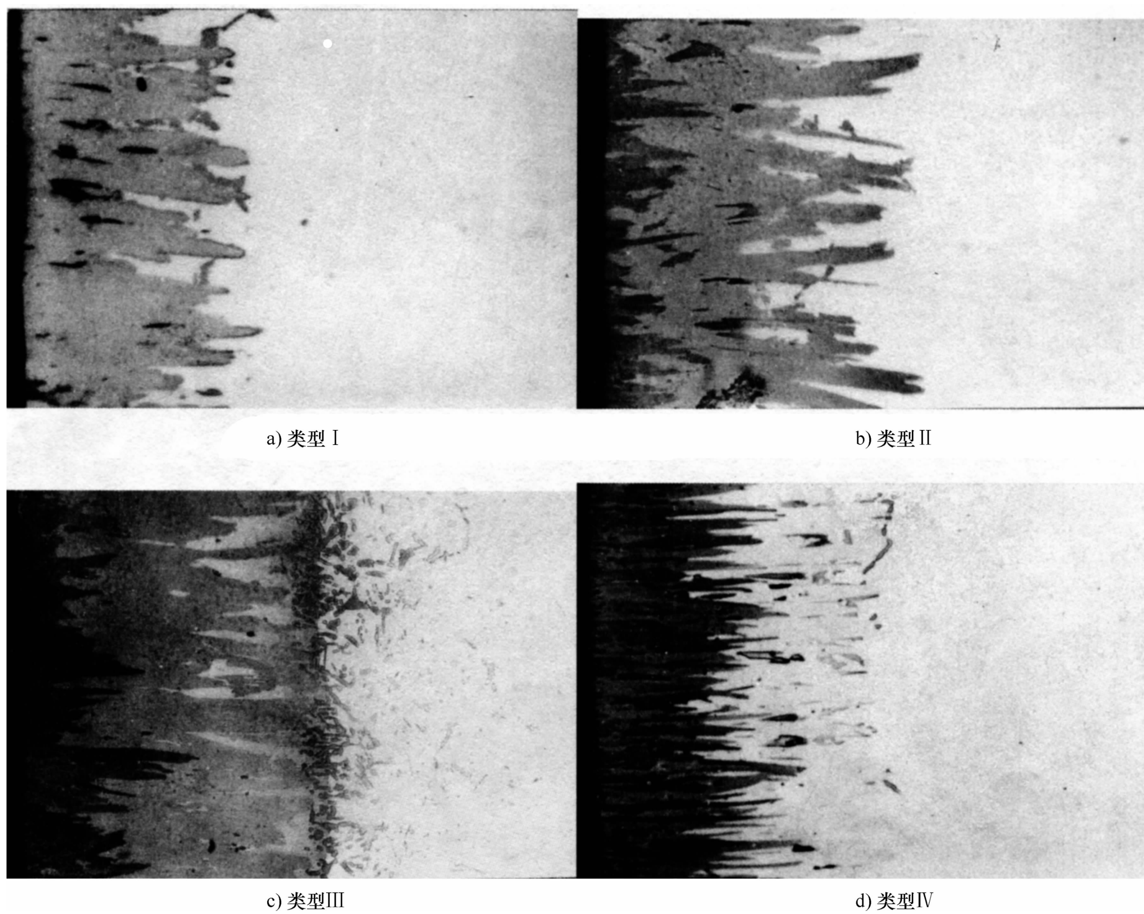
类型	说明	图号
Ⅰ	单相　Fe_2B	图 2a
Ⅱ	双相　FeB、Fe_2B　FeB 约占 1/3	图 2b
Ⅲ	双相　FeB、Fe_2B　FeB 约占 1/2	图 2c
Ⅳ	双相　FeB、Fe_2B　FeB 约占 2/3	图 2d
Ⅴ	齿状渗层	图 2e
Ⅵ	不完整渗层	图 2f

7　渗硼层硬度的测定

7.1　按照 GB/T 9790 测定硬度，试验力采用 1.0N。

7.2　在制备好的金相试样横截面上选择致密无疏松处进行测定。

显微硬度范围：FeB 一般为 1800～2300HV；Fe_2B 一般为 1300～1500HV。



a) 类型Ⅰ　b) 类型Ⅱ　c) 类型Ⅲ　d) 类型Ⅳ

图 2　渗硼层类型（×250）

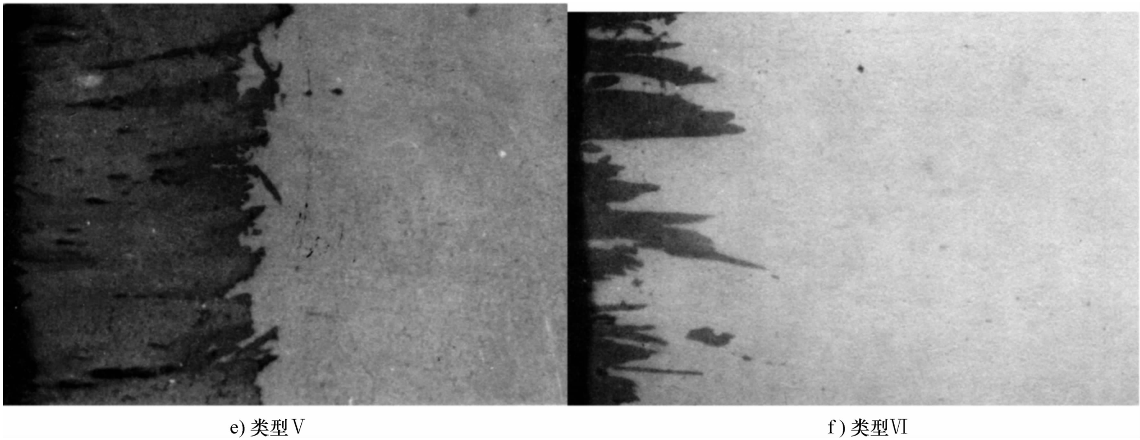

e) 类型Ⅴ　　f) 类型Ⅵ

图 2　渗硼层类型（×250）（续）

7.3　当工件不宜破坏时，也可以在渗硼件表面测定硬度，表面粗糙度应保证 $Ra \leqslant 0.32\mu m$，显微硬度范围为 1200～2000HV。

8　渗硼层深度的测量

8.1　按 JB/T 5069 和 JB/T 9206 规定，在制备好的试样横截面上测量渗硼层深度。

8.2　放大 200～300 倍，将视场分为六等分，在五个等分点上测量深度，计算算术平均值：

$$h = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5)/5 \tag{1}$$

式中　h——渗硼层深度。

8.3　根据渗硼层不同类型，渗硼层深度 h 值应以连续部位为基础，采用三种不同测量方法，测量公式及示意图见表 2。

表 2　不同类型渗硼层深度测量方法

适应类型	碳含量（%）	形貌特征	计算公式	示意图
Ⅰ　Ⅱ	≤0.35	渗层呈指状，峰谷相差很大	h = (谷$_1$ + 谷$_2$ + 谷$_3$ + 谷$_4$ + 谷$_5$)/5	谷$_1$ 谷$_2$
Ⅲ　Ⅳ	0.35～0.60	渗层呈指状，峰谷明显	h = [(峰$_1$ + 谷$_1$)/2 + (峰$_2$ + 谷$_2$)/2 + (峰$_3$ + 谷$_3$)/2 + (峰$_4$ + 谷$_4$)/2 + (峰$_5$ + 谷$_5$)/2]/5	谷 峰

（续）

适应类型	碳含量（%）	形貌特征	计算公式	示意图
V	>0.60	渗层整齐呈齿状，峰谷不明显	$h=(h_1+h_2+h_3+h_4+h_5)/5$	h_1 h_2

9　试验报告

渗硼层试验报告一般应包括以下内容：

a）检测试样的钢种及渗硼工艺；

b）渗硼层类型、组织；

c）渗硼层深度、硬度；

d）意见及结论。

第十七节　钢铁零件渗金属层金相检验方法

一、概论

机械零部件的早期失效，很多情况是由于选用的金属材料表面不具备较高的使用性能，从而在生产、储运和使用过程中出现腐蚀、磨损、疲劳和断裂。为防止上述缺陷的发生，对产品零件进行渗金属处理，以改善表面的硬度、耐蚀性、抗氧化性、耐磨性等性能。渗金属工艺能节约贵重的金属元素，降低成本，从而创造良好的经济效益。

渗金属工艺在国内外已获得较为广泛的应用。20 世纪 60 年代初，我国已开始了渗铬、铝、锌等工艺的研究和应用。渗金属方法由粉末固体法发展为液体法、气体法、离子渗等，工艺日趋完善。20 世纪 80 年代由武汉材料保护研究所相继编制了渗铬、钒、硼的工艺标准及《钢铁热浸铝工艺及质量检验》标准。（JB/T 9206—1999《钢铁热浸铝工艺及质量检验》已被 GB/T 18592—2001《金属覆盖层　钢铁制品热浸镀铝　技术条件》涵盖）。为了适应渗金属工艺的正确实施，编制渗金属层金相检验标准是非常重要的。

国外的化学热处理金相检验标准收集到的较少，只有日本的 JIS 中的渗碳、渗氮、热镀锌等少数工艺标准，其他渗金属的标准尚未收集到。我国有渗碳、渗氮、碳氮共渗、热浸铝质量检验的金相检验标准。本标准于 1991 年首次制定，并于 2007 年进行了修订。

二、标准应用说明

由于表层和基体的悬殊差别，渗金属层金相试样不同于一般金相试样。渗金属层金相试样的特点是从表层到基体成分上有很大的变化，由此带来组分、浓度、组织、硬度的相应变化。随着渗入元素的不同有它自己的规律，有的成分分布自高至低，有的则自低至高，还会形成多种不同的固溶体和化合物。因此，这样的金相试样要求有较高的制样技巧和实验技术。

1. 试样制备

渗金属层一般是几个微米至几十个微米。制备试样时，需先保护这极薄的一层表面，才能进行磨抛，制备试样。

保护表层有三种方法：

1）加镀保护金属层。就是在渗金属表层再电镀上一层金属。选择加镀金属的原则是硬度相近，色泽相异，例如，可以镀铬、铜、镍等。

2）镀嵌在低熔点金属或粉料中。应根据不同情况选用塑料、环氧树脂等。

3）用圆形或板形夹具夹持。对于有夹持平面的渗金属试样，板形夹具是最佳选择。

夹持试样的关键是两试样间垫片的选择。使用垫片是为了分开两个渗金属试样，要求其具有一定的硬度和可塑性，但更重要的是垫片的电位一定要高于试样的电位，以便在侵蚀剂中不参与化学过程而不污染试剂。常用金属在氯化钠水溶液中的电极电位顺序为：

Al	−1.67	Zn	−0.67	Fe	−0.44
Ni	−0.25	Sn	−0.14	Pb	−0.13
Cu	+0.35	Ag	+0.8	Au	+1.42

垫片一般厚0.3～0.5mm。从各方面考虑，垫片一般常用铜和镍片。

对于极薄的渗金属层，为了提高测量深度的精度，可考虑制备斜截面。所磨制的斜截面应与渗层呈 α 角，以便渗层扩展，在这个面上测量渗金属层深度。磨制方法如下：

1）用中碳钢制作一个呈 α 角的模块，放在镶嵌机下模的上面。α 角可根据具体情况选择10°～15°，角度越小扩展倍数越大。

2）被测定的试样，要求上、下两面平行，有渗层的一面放在上面。

3）填入适当镶嵌粉料，以便镶嵌后可以直接在预磨盘上磨平，而不用砂轮打平。

4）镶好的试样磨制上面。从上平面划上等高线，以保持磨面与上平面平行，见图4.17-1。

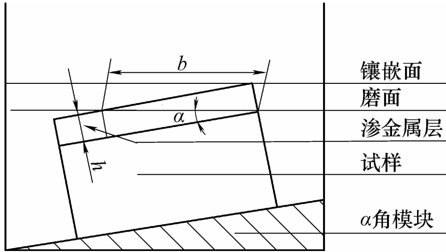


图4.17-1 斜截面试样

5）渗层深度按下式计算：

$$h = b\sin\alpha$$

式中 h——渗金属层真实深度；

b——测量的渗金属层深度；

α——模块角度。

试样的磨、抛依照一般磨制金相试样的顺序：砂轮磨→预磨盘磨→粗细砂纸磨→抛光→热冷风吹干，应注意：

1）在磨制时，一定要保持磨面与渗金属层垂直，（横截面试样）一旦倾斜将影响深度的精度，由公式计算倾斜10°角，误差将增大1.54%。

2）砂轮打磨用力要轻，以免渗层崩裂。

3）每换一道砂纸，可以转动一定角度，但应始终保持用力方向与渗层成45°角，而不是通常所说的90°角，这样可以减轻冲击力，以免渗层崩掉。

2. 渗金属层的显示

标准正文表1中列出1～7号渗金属层标准侵蚀剂，基本上可以显示常见的渗金属层。在实际显示时，由于表层和次表层，以及表层和基体成分、浓度、组织上的极大差别，所以有的试样需进行多次侵蚀。现举渗铬试样为例：先用2号试剂侵蚀渗层（铁氰化钾20g，氢氧化钾20g，水100mL；60～70℃；1～2min）。由于2号试剂是强氧化剂，侵蚀后渗铬层显示出来，但有一薄层棕

色氧化膜。再用4号试剂清洗（柠檬酸10g，水90mL，用棉球擦拭）之后，用1号试剂（硝酸酒精溶液）侵蚀基体，这时渗铬层和基体组织就全部显示出来了。

3. 渗层各相的说明

渗入元素扩散到金属基体中，首先形成固溶体，以柱状晶的形式为多。当渗入浓度超过该元素在基体中的溶解度时，导致相结构的改变，而形成化合物，化合物一般平行于表面，形成层状。例如渗铬、铝等。只有择优取向显著的相才呈“指状”楔入基体，如热浸铝中的η相（Fe_2Al_3），渗硼中的FeB和Fe_2B相。

当渗入铝、锌等弱碳化合物形成（或不形成）元素时，由于渗入元素将碳向基体排挤，渗层之下会形成富碳区，有时在富碳区后还有贫碳区，如渗铝。当渗入既缩小奥氏体区又强烈形成碳化物的元素，基体中的碳向渗层浓集，渗层之下形成贫碳区（温度高、时间长、渗层深时尤为明显），如渗铬、钒等。实验证明，基体中的碳含量在中碳以上［w（C）>0.4%］，工艺条件控制适当，这一现象会趋于和缓或不发生。

标准中所列各相的形态分布和结构大部分引自《钢铁化学热处理金相图谱》。其中除引用资料外，以显微观察、硬度测定、化学分析及热处理工艺为依据，渗钒、钛、铌等各相都补充做了X射线衍射分析。

4. 渗层深度的测量

标准中规定，渗层有效深度为“自渗层表面垂直测量至渗层界面线的距离”。

实践证明，对于只形成化合物的渗层界面线非常明显，而对于既形成化合物又形成固溶体的渗层，可用渗后的重结晶线作为渗层界面线。重结晶线是分开α和γ两个相区的界面线，是母相重结晶的结果，它虽不是元素扩散的边界，但由于渗入元素在α和γ中的溶解度不同，渗层浓度分布曲线到达重结晶线时是不连续的、突变的，相应的硬度也是突变的。故可以用这一重结晶线作为有效的扩散深度线。

重结晶线大部分为直线，平行于渗层表面。有时也呈波浪状，如渗铝。用本标准中规定的侵蚀剂，重结晶线均易显示。若经侵蚀剂显示还不十分明显时，稍加长时间，渗层会显示出颜色的差别，这种差别是和浓度分布相对应的，如热浸铝。

5. 渗层硬度的测定

在横截面上测定硬度，不受任何干扰时，可按GB/T 9790进行，有较高的准确度，但因较薄的渗层（<10μm）在横截面上测定有困难，此时容易打穿，只能在表面上测定。因基体干扰大，只有当基体和渗层的硬度相近时，才可以得到可靠的结果。按下式可以估算是否“打穿”。

$$7t = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

式中　t——渗层压痕深度；

d_1、d_2——压痕对角线长度。

超高硬度（>2000HV），由于压痕对角线太小，增大了测量误差，因而准确度较差。

除了维氏硬度，也可以用努氏硬度（HK）来测定，努氏硬度a轴>b轴，更适于渗金属层，但由于目前国内设备尚不普遍，所以标准中未作规定。

同一元素渗入不同钢种硬度会有差别，本标准中之附录A硬度范围没有特指某一钢种。

6. 其他

（1）本标准作为渗金属层的通用金相检验方法，可为今后建立分类渗金属层的金相检验标准创造条件。

（2）本标准主要用于目前生产中较为广泛应用的渗铬、铝、锌、钒、钛、铌层的金相检验。其

中的工艺采用目前较为广泛采用的或已制定的标准。其他渗金属层的检验，可以参照使用。

（3）本标准对于渗金属层的制样方法、侵蚀剂、深度及硬度测定方法做了规定，为实践中的总结。在征求意见时又做了补充和修改。

（4）根据不同的用途，对于渗铬、铝、锌，列出了不同碳含量碳钢的渗后金相组织和硬度；对于渗钒、钛、铌，目前主要用于耐磨件，选用了高碳工具钢及高碳合金钢，如 T12、GCr15 等。

（5）对于渗金属后出现的不甚整齐渗层的某些高合金钢种（如 12CrMoV），其渗层深度确定尚有困难，暂不能应用此方法测量。（武汉材料保护研究所李瑞菊供稿）

三、标准内容（JB/T 5069—2007）

钢铁零件渗金属层金相检验方法

1 范围

本标准规定了钢铁零件渗金属层的金相检验方法。

本标准适用于钢铁零件经渗铬、渗铝、渗锌、渗钒、渗钛、渗铌处理后的试样制备、渗层组织、渗层深度（不适用于渗层与基体没有明显分界的钢种）及显微硬度的检验和测定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 6462　金属和氧化物覆盖层　厚度测量　显微镜法（GB/T 6462—2005，ISO 1463：2003，IDT）

GB/T 7232　金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 9451　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定（GB/T 9451—2005，ISO 4970：1979（E），MOD）

GB/T 9790　金属覆盖层和其他有关覆盖层　维氏和努氏显微硬度试验（GB/T 9790—1988，neq ISO 4516：1980）

JB/T 9206　钢铁热浸铝工艺及质量检验

3 术语和定义

GB/T 7232 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　渗层深度　total diffusion depth

自渗层表面至渗层界面线的距离。

3.2　渗层界面线　interface between case and substrate

金相试样在侵蚀剂作用下，所显示的浸层与基体金属的分界线。

4 试样制备

4.1　试样切取：

4.1.1　试样应取自渗金属零件上具有代表性的部位，在渗层表面垂直切取。

4.1.2　极薄渗金属层（<5μm），按照 GB/T 9451 制备斜截面试样。

4.1.3　为避免空心零件渗金属的变形塌陷，应先用树脂填料灌注成实体，固化后再切割成试样。

4.1.4　可用相同钢种、工艺的代试样。

4.1.5　切取试样必须进行水冷，以免引起组织变化。

4.2　夹持和镶嵌：

4.2.1　规则的试样可以用来夹持磨制，为分开两个试样的渗金属层，试样之间要垫上镍片或铜片。

4.2.2　不规则的试样采用镶嵌后磨制，极薄的渗层可加镀层后再镶嵌。

4.3　磨制抛光：

4.3.1　试样依次用砂轮、预磨盘和砂纸轻磨，磨削方向要与渗层呈45°，换一道砂纸转90°仍与渗层呈45°。

4.3.2　抛光时先用抛光微粉或金刚石抛光膏，最后用清水抛光。

4.4　制备好的金相试样，未侵蚀前按JB/T 9206检查孔隙、裂纹和结合面。

4.5　侵蚀剂及用途见表1。

表　1

编号	组　　成	使用条件	适用范围
1	硝酸（$d=1.42$）2～3mL 无水酒精　97～98mL	浸入，擦拭	钢铁基体材料及渗锌层、渗钛层、渗铌层
2	铁氰化钾　10～20g 氢氧化钾　10～20g 水　100mL	60～70℃ 1～2min 浸入	渗铬层、渗钒层
3	高锰酸钾　4g 氢氧化钠　4g 水　100mL		
4	柠檬酸　10g 水　90mL	擦拭	清洗渗钒层、渗铬层
5	硝酸（$d=1.42$）3mL 氢氟酸　3～10mL 无水酒精　97mL		渗铝层
6	氢氧化钠　25g 苦味酸　2g 水　100mL	加水五倍稀释浸入	渗锌层
7	戊醇　50mL 硝酸　（$d=1.42$）0.2mL	每次5s，多次浸蚀	渗锌层

5　渗层组织

5.1　经侵蚀剂显示后的试样，用光学显微镜放大200～800倍，检验组织。

5.2　不同钢种及工艺的渗层经侵蚀显示的各相见表2及图1～图17。

表　2

渗入元素	基体钢种	渗剂及组成	工　　艺	形　成　相		图号
铬	纯铁	铬粉　50% 三氧化二铝　50% 氯化铵1%（另加）	真空法 1160℃　6h 1.33～13.3Pa	1	$(Cr、Fe)_{23}C$	图1
				2	α	
	45	铬粉　50% 三氧化二铝　50% 氯化铵1%（另加）	粉末法 1180℃　8h 炉冷	1	Cr_2（C、N）	图2
				2	$(Cr、Fe)_{23}C$	
				3	$(Cr、Fe)_7C_3$	

（续）

渗入元素	基体钢种	渗剂及组成	工艺	形成相		图号
铬	T12	铬粉 70% 二氧化二铝 30% 氯化铵 1%（另加）	粉末法 10500℃ 6h 炉冷	1	Cr_2（C、N）	图 3
				2	$(Cr、Fe)_{23}C$	
				3	$(Cr、Fe)_7C_3$	
				4	Fe_3C	
		硼砂 85% （三氧化二铬 + 铝粉）15%	熔盐法 960℃ 5h	1	$(Cr、Fe)_{23}C$	图 4
				2	$(Cr、Fe)_7C_3$	
				3	Fe_3C	
铝	20	铝铁粉 100% （铝占 50%） 氯化铵 1%（另加）	粉末法 950℃ 8h	1	ξ（$FeAl_2$）	图 5
				2	β_2（FeAl）	
				3	α，其中有针状的 β_1（FeAl）	
	T8	铝铁粉 85% （铝占 50%） 三氧化二铝 14% 氯化铵 1%（另加）	粉末法 850℃ 7h	1	ξ,（$FeAl_2$）其中有棒状的 Al_4C_3	图 6
				2	β_2（FeAl）	
				3	α，其中有针状的 β_1（FeAl）	
	20	熔融铝	热浸法 750℃浸 10min	1	Al	图 7
				2	η（Fe_2Al_5）	
			热浸扩散法 780℃浸 30min 950℃ 8h 扩散	1	η + θ（Fe_2Al_3 + $FeAl_3$）	图 8
				2	β_2（FeAl）	
				3	α，其中有针状的 β_1（FeAl）	
锌	10	锌粉 100%	粉末法 380℃ 16h	1	η + ξ（Zn + $FeZn_{13}$）	图 9
				2	δ_1（$FeZn_7$）	
	08	熔融锌	热浸法 450℃ 浸 1min	1	η（Zn）	图 10
				2	η + ξ（Zn + $FeZn_{13}$）	
				3	δ_1（$FeZn_7$）	
				4	γ（Fe_3Zn_{10}）	
	10	熔融锌	热浸法 520 ~ 530℃ 浸 3min	1	η（Zn）	图 11
				2	η + ξ（Zn + $FeZn_{13}$）	
				3	δ_1（$FeZn_7$）	
钒	T12	硼砂 85% 五氧化二钒 10% 铝粉 5%	熔盐法 960℃ 6h	1	V_4C_3	图 12
				2	V_8C_7	
	GCr15			1	V_4C_3	图 13
				2	V_8C_7	

（续）

渗入元素	基体钢种	渗剂及组成	工 艺	形 成 相	图号
钛	T12	（硼砂＋氯化钾） 55%～60% （二氧化钛＋铝粉） 30% 活化剂 10%～15%	熔盐法 960℃ 6h	TiC	图 14
	GCr15				图 15
铌	T12	硼砂 93% 铌粉 7%	熔盐法 960℃ 6h	NbC	图 16
	GCr15				图 17

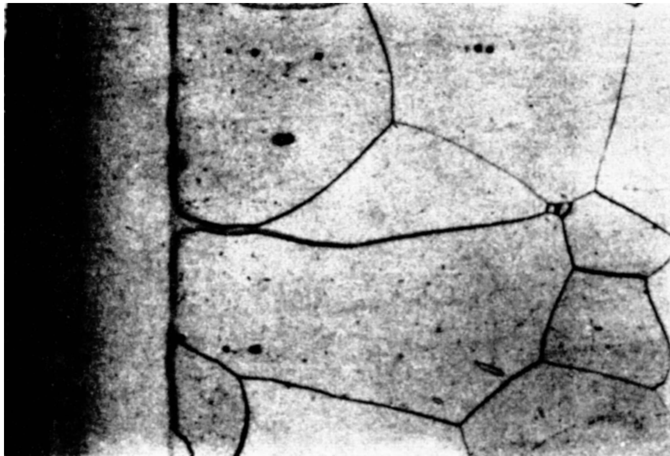


图 1 渗铬（×500）侵蚀剂：1＋2

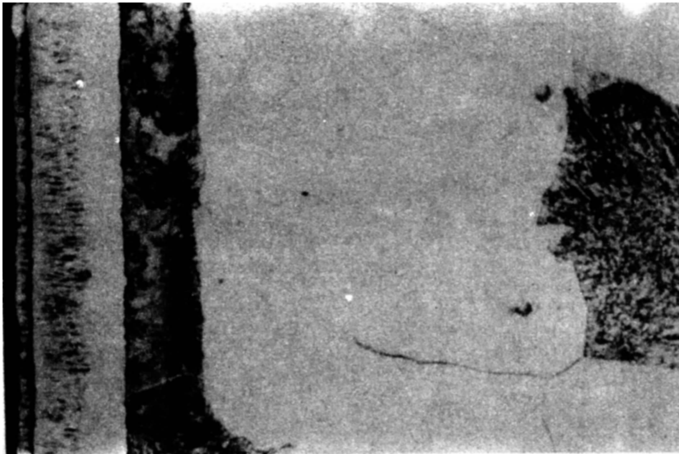


图 2 渗铬（×500）侵蚀剂：1＋2＋4

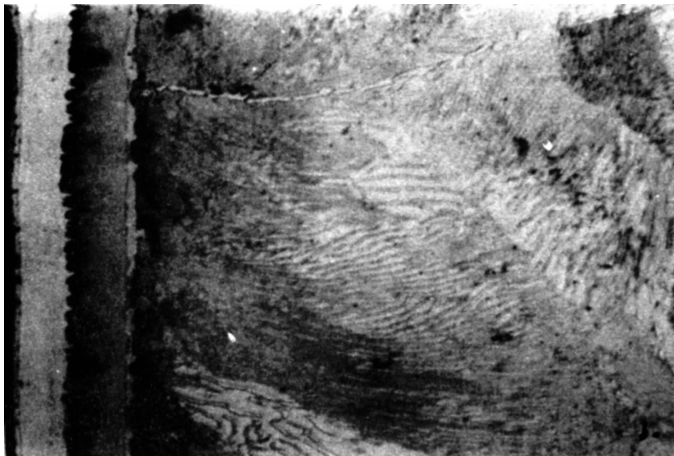


图 3　渗铬（×500）侵蚀剂：1+2（3）

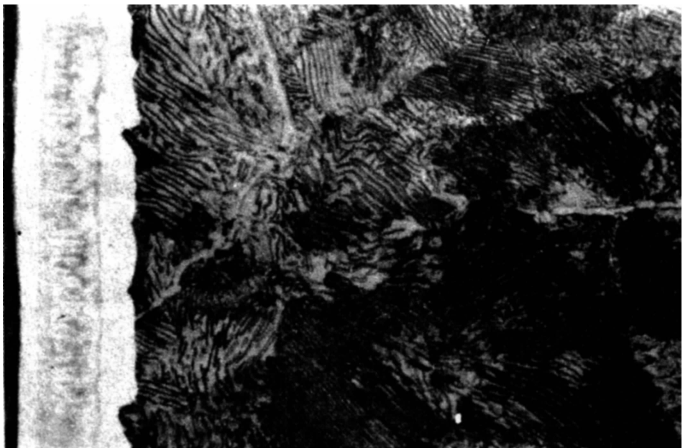


图 4　渗铬（×800）侵蚀剂：1+2+4

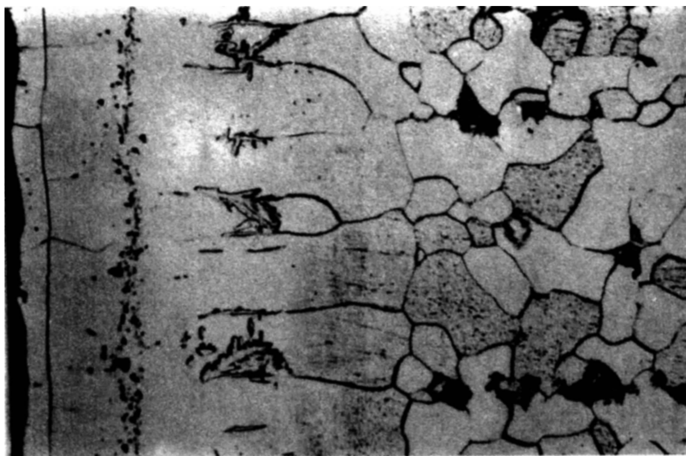


图 5　渗铝（×250）侵蚀剂：5

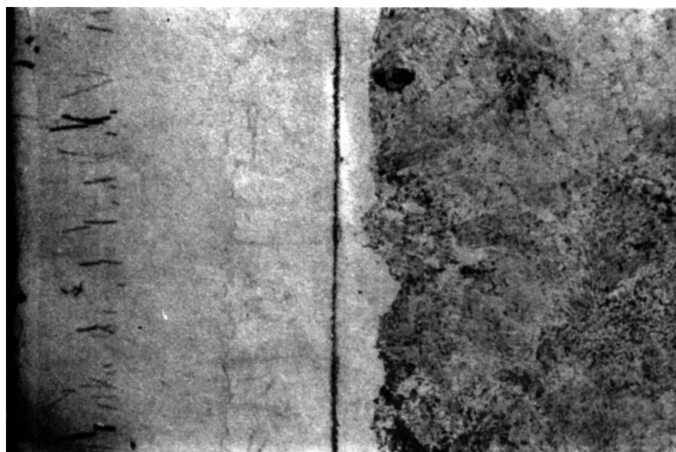


图 6　渗铝（×400）侵蚀剂：5

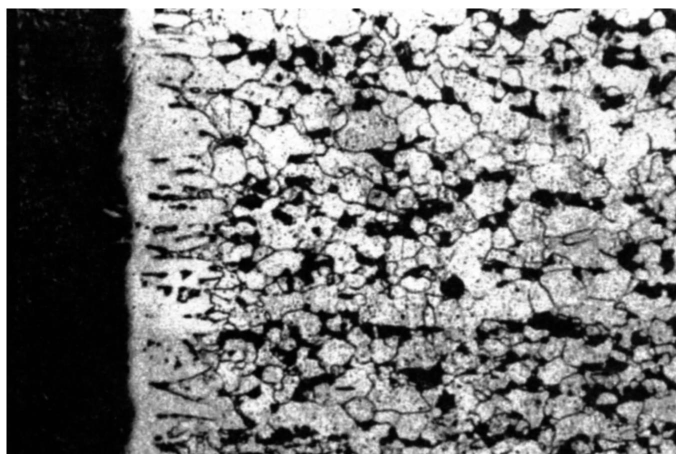


图 7　渗铝（×200）侵蚀剂：1

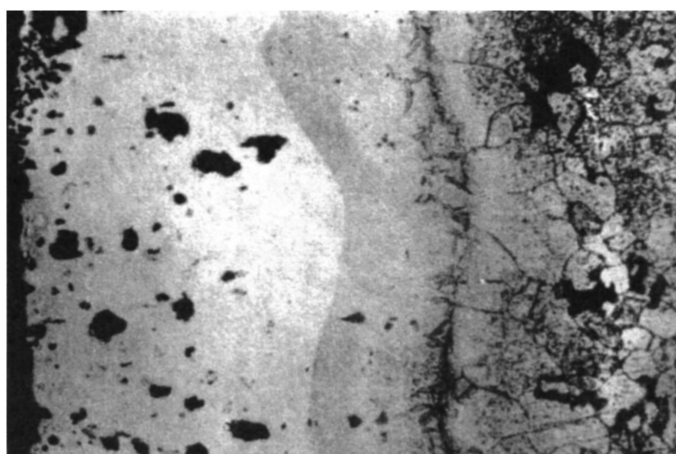


图 8　渗铝（×200）侵蚀剂：5

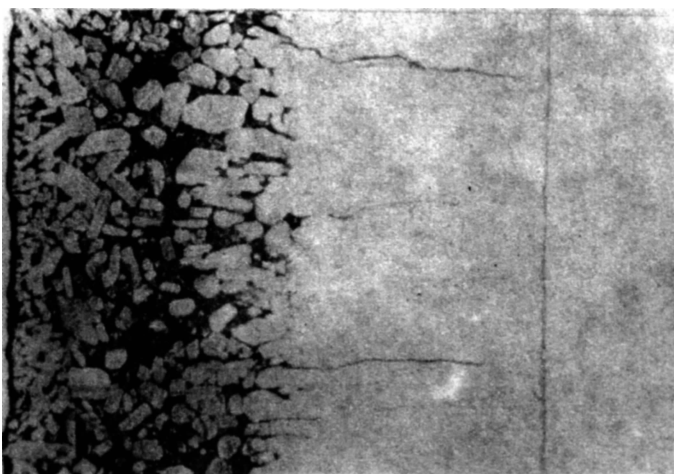


图 9 渗锌（×250）侵蚀剂：6

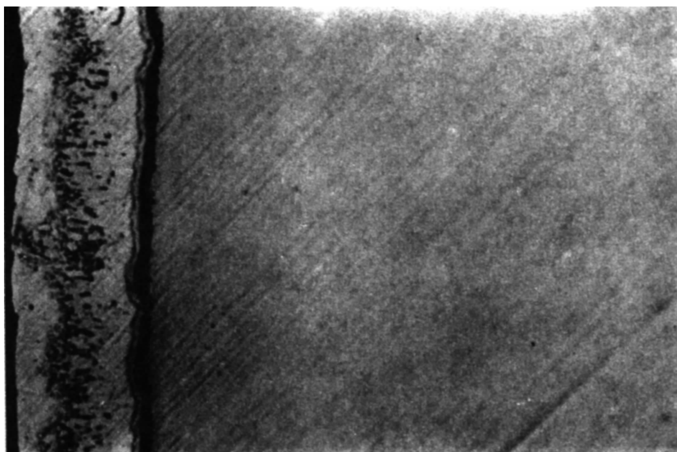


图 10 渗锌（×500）侵蚀剂：7

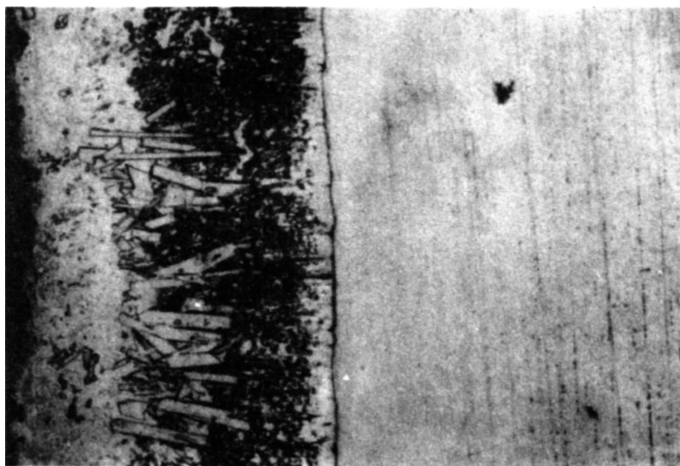


图 11 渗锌（×250）侵蚀剂：1

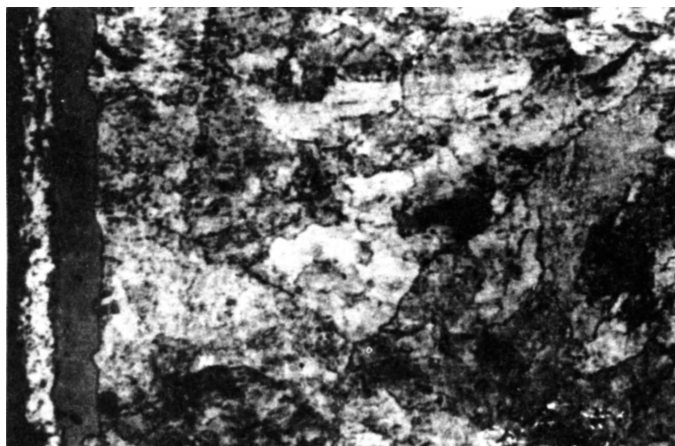


图 12　渗钒（×800）侵蚀剂：1+2+4

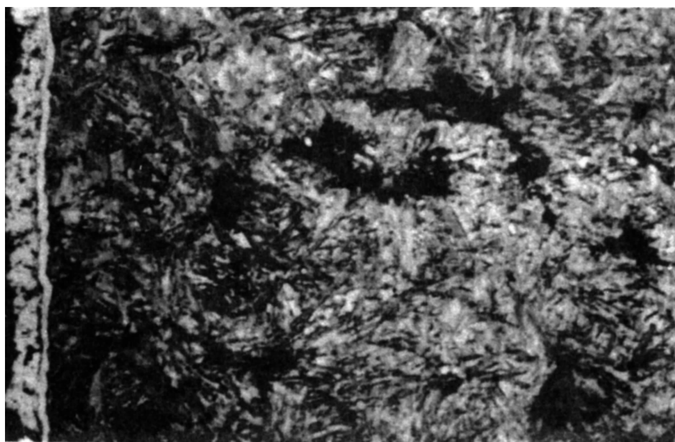


图 13　渗钒（×800）侵蚀剂：1+2+4



图 14　渗钛（×800）侵蚀剂：1

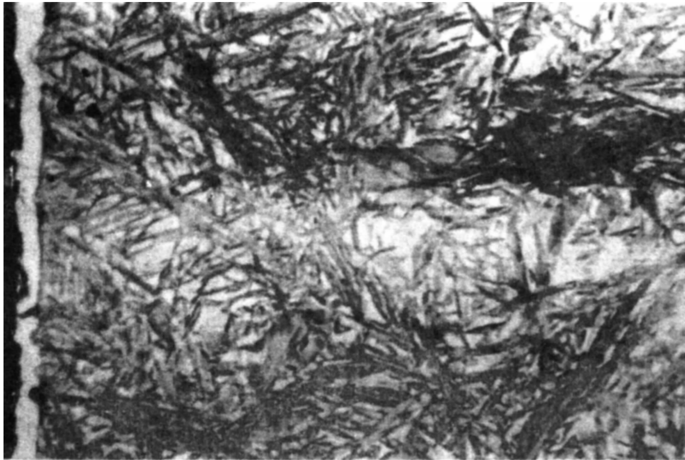


图 15　渗钛（×800）侵蚀剂：1

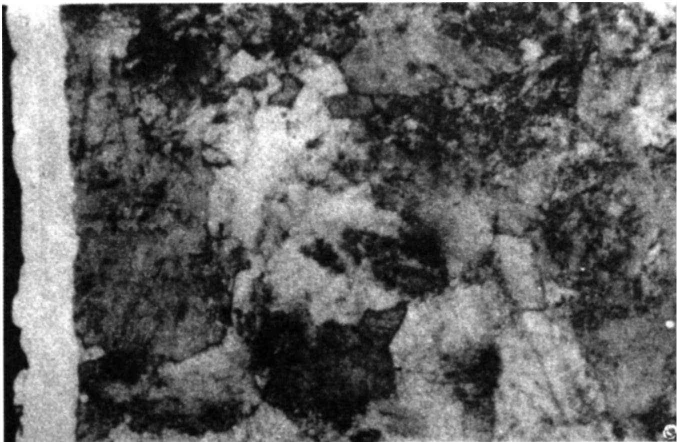


图 16　渗铌（×800）侵蚀剂：1

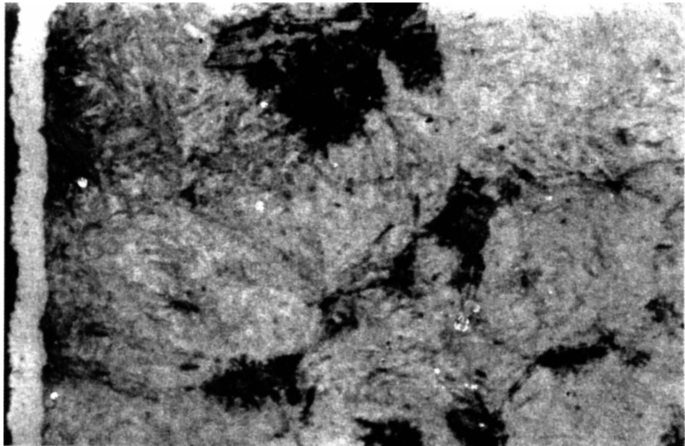


图 17　渗铌（×800）侵蚀剂：1

6　渗层深度的测量

6.1　按照 GB/T 6462 及 JB/T 9206 在制备好的金相试样上，用带有显微目镜的光学显微镜测量。测量放大倍数的选择，见表 3。

表　3

渗层深度/μm	≤5	>5~20	>20
放大倍数	600~800	200~600	200

6.2　渗层深度测量方法：

6.2.1　界面线较平整时，可直接测量。测量 3~5 点取算术平均值。

6.2.2　界面线呈波浪状时按 JB/T 9206，将一个视场分为六等分，在五个中间点上测量深度，取算术平均值。

6.2.3　界面线不连续或极不均匀，只需测出最大、最小值，供执行工艺参考。

6.3　渗层小于 5μm（极薄）的，可按 GB/T 9451 测量深度。

7　渗层硬度的测量

7.1　按 GB/T 9790 测定渗层的显微硬度。

7.2　一般在横截面上测定。当渗层深度小于 10μm 时，允许在渗金属零件表面测定，试样的表面粗糙度 *Ra* 的最大值为 0.63μm，为除去污物可用 06 号金相砂纸轻磨。

7.3　每一试样取 3~5 个压痕计算平均值。

7.4　根据不同渗层选用的实验力见表 4。

表　4

渗　　层	试验力/N	
	横截面	表面
铬、铝、钒、钛、铌	0.981	0.245
锌	0.496	—

7.5　渗层各相显微硬度参见附录 A。

8　试验报告

渗金属层金相检验报告，应包括以下内容：

a）检验试样的钢种及渗金属工艺；

b）渗层的组织缺陷（必要的金相照片）；

c）渗层深度和硬度（需注明检测面）；

d）结论。

附　录　A

（资料性附录）

渗层各相显微硬度

表　A.1

形成相	硬度范围　HV	形成相	硬度范围　HV
Cr（α）	150~200	$(CrFe)_{23}C_6$	2000~2400
Cr_2（C_4N）	≈1500	$(CrFe)_7C_3$	1800~2200

（续）

形成相	硬度范围　HV	形成相	硬度范围　HV
Fe_3C	1500～1800	$FeZn_{13}$（ξ）	90～200
Al（α）	200～400	$FeZn_{10}$（γ）	300～500
$FeAl_2$（ξ）	750～1200	$FeZn_3$（δ_1）	200～300
FeAl（β_2）	400～550	VC	2100～3000
Fe_3Al（β_1）	550～650	TiC	2100～3400
Zn（η）	40～70	NbC	2000～2400

第十八节　钢铁零件强化喷丸的质量检验方法

一、概论

钢铁零件强化喷丸是一种把钢制丸粒加速到一定速度后投射到钢铁零件表面上，使零件表面在一定深度内产生加工硬化层及残余压应力的一种加工方法。这种残余压应力抵消了部分外加载荷的张应力，抑制了裂纹在零件表面高应力区中的萌生和扩展，能有效地消除由于零件结构尺寸因素和加工过程中应力集中的影响。因此，它不但可以显著地提高零件的弯曲疲劳强度，还能提高接触疲劳性能，耐应力腐蚀性和耐磨性也得到增强。

喷丸强化效果与喷丸加工工艺条件（如丸粒大小、硬度、喷射速度、喷丸量、喷射时间等）密切相关。喷丸强化效果可用零件表层中残余压应力值和压应力分布情况来衡量。但是，应力值测量很困难，不能随时测得。因此，一般在生产管理中常用阿尔门试片测量弧高值和覆盖率进行间接控制，但最终还需用钢铁零件实物的实验效果来保证，以找出它们之间的对应关系。

强化喷丸处理在航空、汽车等行业生产上已得到广泛的应用，2000 年，参照国际通用标准，制定了 JB/T 10174《钢铁零件强化喷丸的质量检验方法》，2008 年对该标准进行了修订。

二、标准应用说明

1. 弧高值测定

国内外喷丸强度的测量方法通常采用弧高值测定法。它是由美国 GM 公司 J·O·Almen 提出的，是 SAE J442《Test Strip，Holder，and Gage for Shot Peening》、SAE J443《Proceduces for Using Standard Shot Peening Test Strip》等系列标准规定的测量方法。其要点是把称为阿尔门（Almen）试片固定在夹具上，投射弹丸后从夹具上取下试片，再用测微千分尺测量试片的弯曲弧的高度（弧度值）。这是根据阿尔门试片弧高值与给予的内应力成比例关系而制定的方法。阿尔门试片的材料，可采用 JLS G 4401《碳素工具钢》中的 SK5（SK85）、SK6（SK75）和 SK7（SK65）钢，但各企业使用试片的材料不尽相同，如日本日野公司是用 MXO71070。我国有用 70 钢冷轧弹簧钢带生产的商品化阿尔门试片销售。阿尔门试片的硬度对弧高值影响是随着硬度的增高，同一喷丸处理条件下的弧高值将变小。市场上出售的试片硬度波动较大，因此使用前要测定其硬度，不符合规定标准的，要根据专用的曲线进行修正。选定弧高值的标准范围要根据齿轮模数（齿根、齿厚）大小及图样要求而定。

2. 覆盖率（被覆盖度）

所谓的覆盖率是指被处理工件的表面经喷丸处理后压痕的覆盖程度，国际通用的是按 SAE

J443 来测量。测量的要点是把经研磨的阿尔门试片喷丸后，在大约 50 倍下测量其弹丸压痕面积。要求覆盖率为 100%，但理论上讲只能接受这个极限值，为方便起见，一般把 98% 的覆盖率称为 100%（全覆盖率）。

有时用该图中的 100% 覆盖率处理时间的 2 倍、3 倍来处理，分别称为 200%、300% 的覆盖率。作为齿轮发生弯曲疲劳断裂部位的齿根哈佛（Hofer）危险断面处是最难接受到弹丸的地方。对于齿轮，为了使齿根能够得到充分的喷丸效果，在使用与齿根圆角相适应的弹丸直径的同时，还必须充分考虑弹丸的投射量。一般在相同条件下，齿根的喷丸效果只有圆棒的1/3。因此，为了使齿根能得到充分的喷丸效果，在管理方法上必须使用阿尔门试片测定的覆盖率达到 200% 以上或者 300% 以上。

3. 残余应力

用 X 射线测定不同喷丸强度而引起的表面残余应力。在渗碳状态下表面存在一些残余拉应力，但经喷丸处理后，表面层却出现了 300 ~ 500MPa 的残余压应力。随着弧高值的增加，最表面的残余压应力有所降低，但残余压应力的深度增加了。由于残余应力的测定成本高，目前又只能测定平面，齿根的残余应力对齿轮喷丸来说是最重要的，现还不能测量，因此本检验标准暂不列残余应力这一项。

4. 其他

强化喷丸质量管理是以阿尔门试片测得的弧高值和覆盖率作为基础的，而阿尔门试片的硬度、弹丸的硬度、弹丸的投射速度和投射量、弹丸的直径和分布等对标志喷丸强度的弧高值影响很大。因此，掌握好上述这些因素的影响是很重要的，如确定弧高值的饱和时间和使丸粒硬度处于最小波动范围等。此外，除去喷丸过程中破碎的丸粒，保持丸粒粒径的分布也很重要。齿轮等使用的铸钢丸，虽然受丸粒的条件和丸粒硬度的影响，但其平均寿命应为 1000 ~ 2000 次。

5. 强化喷丸对零件性能的影响

（1）提高了疲劳强度。喷丸处理改善了表面状态，因而使疲劳强度大幅度提高。弧高值为 0. 15 ~ 0. 6mmA 时，旋转弯曲疲劳强度提高 42% ~ 56%，但弧高值进一步增加，疲劳强度有一定程度的降低。喷丸后疲劳源位置也发生了变化，由表面移向内部。小尺寸零件的疲劳强度提高比大尺寸零件提高得多。喷丸对有某种程度缺陷的零件特别有效，代表之一就是渗碳齿轮。喷丸齿轮与原渗碳齿轮相比，尽管由于接受弹丸的状态对强度有影响，使寿命的分散度变大，但喷丸可使损坏概率 10% 的疲劳强度提高 48%。因此，消除由于喷丸处理而引起寿命分散度加大的主要因素，对建立大量生产的工艺方法，是非常重要的。但是，不管怎样，强化喷丸处理都可使疲劳强度提高 20% ~ 40%。

（2）提高了表面硬度。在原渗碳状态下，从表面到 25μm 深度内的硬度降低部分，经喷丸处理后，由于加工硬化，其硬度大幅度提高。

（3）表层残留奥氏体含量减小。用 X 射线衍射仪测量渗碳淬火时的残留奥氏体含量经喷丸处理后的变化，发现喷丸处理可使从表面到 0. 1mm 深度的残留奥氏体量减少 20% ~ 50%。这是由于喷丸处理时的塑性变形使一部分残留奥氏体转变成了马氏体。

（4）对渗碳齿轮精度的影响。喷丸处理除对齿面粗糙度有影响外，其他没有发现什么变化。当表面粗糙度 Ra 大于 4μm 时，喷丸处理改善了工件的表面粗糙度；当表面粗糙度 Ra 为 2 ~ 4μm 时，喷丸前后基本上观察不到表面粗糙度的差别。渗碳淬火后经磨削的表面，由于喷丸处理后残留一些塑性变形痕迹，因此在不允许这种痕迹存在的情况下，有必要遮盖起来，使之不与丸粒接触。喷丸后表面容易锈蚀，最好再进行磷化处理。

（5）强化喷丸对渗碳件表层微观结构的影响。用 X 射线衍射仪对试样表层内的晶格畸变、亚

晶尺寸、位错密度进行测量。强化喷丸使渗碳表面亚晶尺寸变小，晶格畸变增大，位错密度增加。喷丸强度不同，效果也不同。当喷丸强度f_A为0.38～0.53mm时，随喷丸强度的增加，亚晶尺寸逐渐减小，晶格畸变，位错密度逐渐增加。当喷丸强度f_A大于0.53mm时，随喷丸强度的增加，亚晶尺寸有增大，位错密度有减小的趋势，晶格畸变继续增加，因此认为此时出现过喷丸。此时，疲劳寿命开始出现降低的趋势，而且载荷越高，疲劳寿命降低越明显。

（6）喷丸后疲劳裂纹萌生及扩展特点。强化喷丸延长了渗碳表面接触疲劳裂纹的萌生期，并使扩展裂纹多次分叉，扩展速度降低。强化喷丸使弯曲疲劳裂纹线变得短而细，因而延缓了弯曲疲劳裂纹的形成及降低了裂纹扩展速度。（长春一汽嘉信热处理科技有限公司牟宗山供稿）

三、标准内容（JB/T 10174—2008）

钢铁零件强化喷丸的质量检验方法

1 范围

本标准规定了强化喷丸用弹丸的种类、技术要求、检测装置、喷丸强度及覆盖率的测定方法。

本标准适用于钢铁零件强化喷丸的检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）[GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999 Metallic materials-Rockwell hardness test-Part 1：Test method（scales A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T），MOD]

GB/T 1298　碳素工具钢技术条件（GB/T 1298—1986，neq ASTM A686：1979）

GB/T 6003.1　金属丝编织网试验筛（GB/T 6003.1—1997，eqv ISO 3310-1：1990）

YB/T 5058　弹簧钢、工具钢冷轧钢带

YB/T 5149　铸钢丸

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1　强化喷丸　shot-peening

将高速喷丸喷射到钢铁零件表面，使其表面层在弹丸的冲击作用下发生塑性形变，由此产生强化及表面压应力，使钢铁零件的抗疲劳性能及耐应力腐蚀抗力均得到改善。

3.2　弧高度试片　almen

弧高度试片是综合测量强化喷丸工艺参数的一种专用量规，用弹簧钢（应符合YB/T 5058的规定）制成，共有三种尺寸，其型号分别是：N、A、C。

3.3　弧高值　arc high value

将标准的阿尔门试片固定在夹具上，进行单面强化喷丸，弧高度试片在弹丸的冲击下，表面发生塑性变形，导致试片向喷丸面呈球状弯曲，再用弧高度测量仪测量试片弯曲弧高度。

3.4　喷射时间　shot time

受喷零件在喷丸过程中，从开始喷丸到受喷部位达到100%覆盖率时所需的时间。

3.5　喷丸强度　shot strength

计量弹丸冲击金属表面程度的一项指标，它是许多工艺参数（如零件材料、弹丸大小、弹丸性能、喷射速度和喷丸时间等）的函数。喷丸强度一般是以弧高度试片（阿尔门试片）在双倍喷射时间下产生的弧高增加值小于或等于10%所对应的覆盖率至少为100%时，所产生的弧高增加值来表示。

3.6　表面覆盖率　covert rate

受喷零件表面上呈现压坑的程度。是以在被喷表面规定部位上，测得弹痕占据的面积与要求强化喷丸的面积之间的比值，用百分数来表示。超过100%的表面覆盖率用喷丸时间来计算。

4　强化喷丸用弹丸材料

4.1　弹丸种类

铸钢弹丸应符合YB/T 5149的规定，也可用经初喷磨去尖角的切割钢丝弹丸。

4.2　弹丸的技术要求

4.2.1　弹丸的外形、质量、化学成分、硬度、金相组织、裂纹和密度应符合YB/T 5149的规定。

4.2.2　弹丸尺寸视零件的形状、圆角或弧形尺寸、要求的喷丸强度和表面粗糙度等而定。当对零件的圆角、沟槽进行喷丸时，选用弹丸的尺寸应满足下列要求：

a）弹丸尺寸应小于喷丸区内最小半径的1/2；

b）弹丸尺寸应小于键槽宽度的1/4；

c）当弹丸必须通过槽缝强化下方的表面时，其尺寸应小于槽缝宽度的1/4。

铸钢丸的尺寸规格见表1，其筛网规格应符合GB/T 6003.1的规定。

表1　强化用铸钢弹丸的尺寸规格

筛网目号 No	筛网网孔尺寸 /mm	铸钢弹丸代号及通过筛网要求					
		ZG100	ZG85	ZG60	ZG43	ZG30	ZG18
12	1.700	全通过	—	—	—	—	—
14	1.400	止5%（max）	全通过	—	—	—	—
16	1.180	—	止5%（max）	全通过	—	—	—
18	1.000	止85%（min）	—	止5%（max）	全通过	—	—
20	0.850	止96%（min）	止85%（min）	—	止10%（max）	全通过	—
25	0.710	—	止96%（min）	止85%（min）	—	止10%（max）	—
30	0.600	—	—	止96%（min）	止85%（min）	—	全通过
35	0.500	—	—	—	止97%（min）	—	止10%（max）
40	0.425	—	—	—	—	止85%（min）	—
45	0.355	—	—	—	—	止97%（min）	—

（续）

筛网目号 No	筛网网孔尺寸 /mm	铸钢弹丸代号及通过筛网要求					
		ZG100	ZG85	ZG60	ZG43	ZG30	ZG18
50	0. 300	—	—	—	—	—	止 80%（min）
80	0. 180	—	—	—	—	—	止 90%（min）
100	0. 125	—	—	—	—	—	止 98%（min）

注：1. ZG100、ZG85 表示铸钢弹丸尺寸分别为 ϕ1. 0mm 和 ϕ0. 85mm 的弹丸。
2. max、min 表示应留方孔筛网上丸粒积累量的最大值和最小值。

5　检测装置

5. 1　试片

采用弧高度试片测定受喷零件的强度，其试片规格与技术要求见表 2。表面硬度测量方法应符合 GB/T 230. 1 的规定。

表 2　标准弧高度试片的尺寸参数及技术要求

项目名称	试片型号		
	N	A	C
厚度/mm	0. 8 ±0. 025	1. 3 ±0. 025	2. 4 ±0. 025
（宽/mm）×（长/mm）	$19^{\ 0}_{-0.1}$ ×76 ±0. 2		
平面度公差/mm	±0. 025		
表面粗糙度 *Ra*/μm	1. 6		
表面硬度　HRC	73 ~76	44 ~50	44 ~50

在弧高为 0. 15 ~0. 60mm 的喷丸强度范围内，使用试片 A；强度低时使用试片 N；强度高时使用试片 C。适用范围见表 3。三种试片之间的关系见附录 A。

表 3　各种试片的适用范围

试片型号	N	A	C
适用范围	≤0. 15	0. 15 ~0. 60	>0. 60

5. 2　试片固定夹具

试片固定夹具见图 1。夹具材料应符合 GB/T 1298 的规定。

5. 3　弧高度测量仪

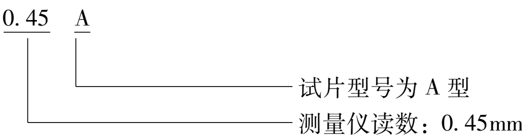
弧高度测量仪见图 2。试片定位销材料应符合 GB/T 1298 的规定。

6　喷丸强度及覆盖率的测量

6. 1　喷丸强度的标注及测量

6. 1. 1　喷丸强度的标注方法

包括测量仪读数和使用的试片类型，例如：0. 45A。



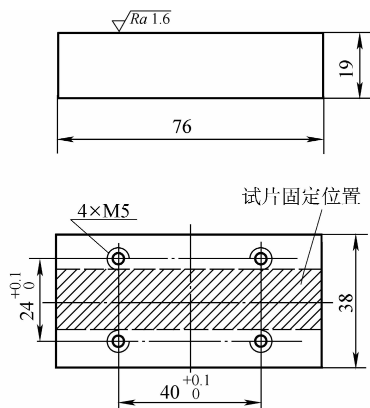


图 1　固定试片夹具（工具钢，淬硬状态）

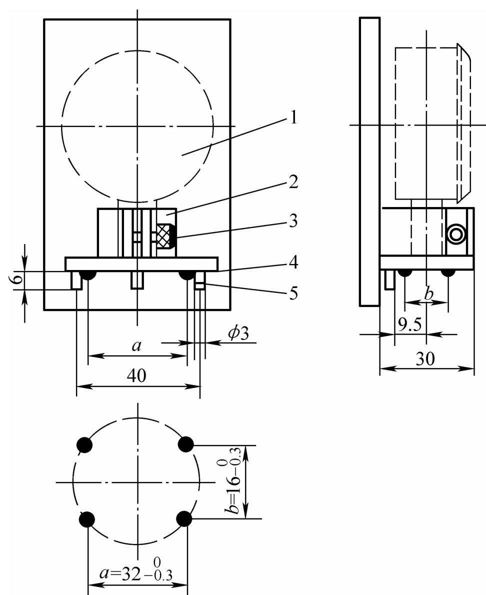


图 2　弧高度量具（刻度值为 0. 025mm）
1—百分表　2—百分表支架　3—百分表固定螺钉
4—钢球（d = 5mm）　5—试片定位销（碳素钢，淬火）

6. 1. 2　喷丸强度的测量

首先校正弧高度测量仪零点，即用一标准平面试片放在测量仪百分表的测头下面，调整表盘，再将试片翻转测量，调整出标准零点。然后将喷丸后的试片未喷丸一面的中心部位对着测量仪百分表的测头安放，读出仪表的指示值。此弧高值为该工艺条件下的喷丸强度。

6. 2　覆盖率的测量

零件表面的覆盖率可用 10 倍的放大镜检验。对已知喷丸循环中得到的覆盖率存在疑问时，应抛光一块与零件材料和硬度相同的试样（102mm × 102mm），与零件放在同一条件下喷丸。然后，将试片放在金相显微镜下检查受喷表面，并把影像放大 50 倍投影到一块毛玻璃上，使用面积仪测出几个观察部位所有受喷区域的总面积，并取其平均值。

7　零件强化喷丸的质量控制

7. 1　根据钢铁零件的工作状态及对性能的要求，喷丸强度值根据产品图样的技术要求而定，一般应为 0. 35A 以上。

7. 2　表面覆盖率应符合产品图样的技术要求，一般应不低于 200% 。

7. 3　对不同零件应选用合适的喷丸强度，对于极薄的或小断面的零件，不得选用较高的喷丸强度，以防在零件的中心部位产生残余应力而引起变形。

7. 4　零件喷丸部位有特殊要求时，必须在合同或有关图样中明确规定，以采取适当保护措施。

7. 5　强化喷丸后的零件除用喷丸方法外，不得采用其他任何机械方法校形。

7. 6　强化喷丸后，如需对零件进行加热，一般其加热温度应控制在 200℃ 范围以内。

7. 7　已强化喷丸的零件表面如需进行磨削或抛光时，去除表面深度一般不应超过喷丸强度试片 A 弧高值的 10% 。

7.8　不应在零件的已喷丸部位做硬度试验。
7.9　零件在喷丸后应防止腐蚀，直到下一工序。

附　录　A
（规范性附录）
弧高度试片之间的关系

弧高度试片 A、N、C 之间的关系见图 A.1。

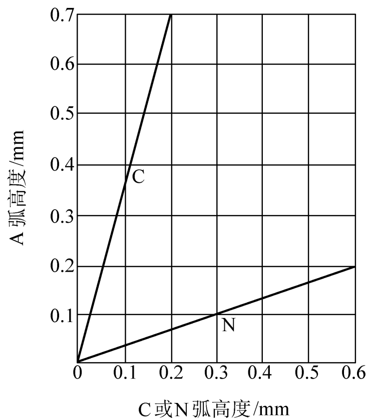


图 A.1　A、N、C 型试片之间的关系

第十九节　热作模具钢显微组织评级

一、概论

热作模具也是我国模具工业中用量大，需求面广，性能要求多且特别苛刻的一类模具。因为它工作时常接触炽热的金属或液态金属，承受高的单位压力和冲击载荷外，还承受急剧的周期性温度变化，因此，要求模具材料必须具备高的力学性能、高温下应保持高的热疲劳抗力、热磨损抗力、塑性变形抗力、断裂抗力、热熔损和冲蚀抗力等使用性能。

本标准制定之前，还没有收集到有关热作模具钢方面的金相组织检验标准。标准是通过对全国 160 多个热作模具使用企业的实地调研和函调，积累了有关热作模具失效特征的大量数据资料的基础上制定的。引起模具失效的原因很多，但统计结果表明，由于选材和热处理不当致使模具早期失效的约占 70% 以上，因此，合理的选材和选择适当的热处理工艺，仍是控制模具质量和提高其使用寿命的关键。金相分析是判定热处理质量的重要依据，为此，于 1995 年制定了本标准，并于 2008 年进行了修订。

二、标准应用说明

1. 范围

（1）钢材选择。本标准选择的 6 种钢材（5CrNiMo、5Cr4W5Mo2V、3Cr2W8V、3Cr3Mo3W2V、4Cr5MoSiV、4Cr3Mo2NiVNbB）均为当前制造锤锻、机锻、热挤压、热冲裁、压铸等模具最常用，且具有一定代表性的热作模具用钢。其显微组织评级图在相近钢种中也可以参照使用。

（2）评定级别制定。热作模具一般均用中碳合金工具钢制成。其热处理后的显微组织应为细针马氏体＋少量残留奥氏体＋少量过剩粒状碳化物。少量残留奥氏体一般用金相法是难于精确鉴别和定量测定的。剩余碳化物由于数量较少，且颗粒细小，对模具的性能影响不像高碳高合金钢中大块碳化物那么大。因此，本标准的显微组织级别确定以马氏体形貌和马氏体针长度来区分，从细到粗，共分6级。按其综合性能评价，以3级、4级为最佳；2级、5级次之；6级较差，组织已过热；第1级为欠热组织，硬度值低，一般不采用。

随着淬火温度的提高，钢的马氏体针长度和晶粒度也随之增大，两者是成正比的。当马氏体针不清晰时，亦可检查其晶粒度。

显微晶粒度主要按GB/T 6394中金相比较法评定，通过显微镜投影图像或代表性视场的显微照片与标准系列图片1（放大100倍）评级图片直接比较，得出晶粒度级别。

当晶粒度超过标准评级系列图片所包括范围或基准放大倍数（$M_b = 100$）不能满足需要时，可采用其他放大倍数 M（设 $M = 500$）。若使用放大倍数 M 的晶粒图像与基准放大倍数 M_b 的标准评级图片进行比较，评出晶粒度级别指数 G'，其显微晶粒度级别指数 G，可用下式计算：

$$G = G' + Q$$

$$Q = 6.6439\lg \frac{M}{M_b}$$

式中　Q——加到试样的表观显微晶粒度上的校正系数，Q 值可通过查对数表算出。

示例：设 $M = 500$，$M_b = 100$，代入上式

$$G = G' + 6.64 \times \lg \frac{500}{100} = G' + 6.6439 \times 0.6989 = G' + 4.6$$

G'为放大500倍的晶粒图像与基准放大100倍的标准评级图片进行比较后，评出的晶粒度级别指数，当用比较法或计算法测定指数时，所得的精确度很少大于1/2单位，因此，在试验报告中所示指数要化为整数。

其他放大倍数下评定的晶粒度级别，见表4.19-1。

表4.19-1　不同放大倍数下的晶粒度级别

级别 \ 放大倍数	50×	100×	200×	400×	500×①
1	-1	1	3	5	6
2	0	2	4	6	7
3	1	3	5	7	8
4	2	4	6	8	9
5	3	5	7	9	10
6	4	6	8	10	11
7	5	7	9	11	12
8	6	8	10	12	13

①　该放大倍数下的晶粒度级别均已四舍五入。

2. 试样

检验用试样最好从模具工作部位切取。对一些大的模具取样确有困难时，也可用与模具的熔炼

炉号、有效尺寸、锻造条件和热处理规范均相同的试样。

3. 侵蚀剂

试样的侵蚀剂推荐用4%硝酸乙醇溶液或乙醇（80mL）+硝酸（10mL）+盐酸（10mL）+苦味酸（1g）溶液。

4. 评定方法

马氏体均以金相比较法对照相应钢种的评级图进行评定。在检测面上，取其马氏体针最长的视场（不得少于3个）。

5. 级别评价

通常热作模具钢的马氏体评级以2~4级为宜，晶粒度级别以10~7级为宜。

6. 制定显微组织级别的依据

本标准是在《热作模具钢性能和应用系列化研究》的科研工作基础上制定的。该工作曾针对模具工业中用量大面广的锤锻模、机锻模、热挤压模、压铸模和热冲裁模等五大系列热作模具的服役条件、失效特征和规律，结合27种目前国内外工业应用和新研制的热作模具钢的基本力学性能、特殊性能、工艺性能和使用性能等做了大量的测试研究工作，获得了大量的数据，详见《热作模具钢的选择与应用》（1993年8月国防工业出版社出版）。本标准就是利用这些工艺参数和性能数据，制定热处理的加热温度和显微组织级别的。标准修订时，仍采用了这些数据。

为了便于鉴别马氏体形貌和针长度，试样采用不同加热温度淬火后，直接磨制，拍照和测量，没有经过回火处理（实际使用情况下，必须要经过两次高温回火）。

不同热作模具钢的淬火温度与硬度见表4.19-2。

表4.19-2 不同热作模具钢的淬火温度与硬度

淬火工艺及硬度 / 马氏体级别	5CrNiMo		5Cr4W5Mo2V		3Cr2W8V		3Cr3Mo3W2V		4Cr5MoSiV		4Cr3Mo2NiVNbB	
	温度/℃	硬度HV0.5	温度/℃	硬度HV0.5	温度/℃	硬度HV0.5	温度/℃	硬度HV0.5	温度/℃	硬度HV0.5	温度/℃	硬度HV0.5
1	750	659	850	510	850	498	900	471	900	504	850	452
2	800	718	950	643	950	542	950	537	950	555	950	498
3	850	803	1050	690	1050	720	1050	599	1050	635	1050	565
4	900	829	1100	770	1100	692	1100	659	1100	714	1130	780
5	950	831	1200	882	1200	721	1200	724	1200	785	1200	703
6	1050	844	1250	873	1250	721	1250	742	1250	790	1250	704

从表4.19-2可以看出，随着淬火温度升高，硬度值也随之增加。硬度值越高，钢的强度越好，但冲击值下降，模具在使用中容易开裂，如果淬火温度偏低，溶解到奥氏体中的碳和合金元素含量减少，淬火后马氏体贫碳，有时组织中还残留少量珠光体或铁素体等原始组织，从而削弱了材料抗回火能力，降低了热稳定性和热硬性，使模具硬度降低。在使用过程中，容易产生塑性变形，塌陷和磨损等缺陷，造成模具早期失效。

下面推荐这6个钢种最佳的热处理工艺及其在不同工作温度下的力学性能，供使用者参考，见表4.19-3。

表 4.19-3　试验用钢在不同温度下的力学性能

试验温度 / 力学性能 / 钢种和热处理工艺	室温						300℃						600℃		
	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A (%)	Z (%)	K /J	K_{IC} /MPa$\sqrt{m}$	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A (%)	Z (%)	K /J	HV	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A (%)
5CrNiMo 550℃预热 850℃淬油 500℃ ×2h 第一次回火 500℃ ×2h 第二次回火	1310	1210	15	41	31.3	106.2	1214	1030	24.9	57.8	48.4	383	313	262	69
5Cr4W5Mo2V 550℃ +850℃预热 1130℃　淬油 640℃ ×2h 第一次回火 655℃ ×2h 第二次回火	1696	1430	6.0	11.6	7.6	30.2	1445	1298	8.8	21.4	9.4	491.5	968	859	8.9
3Cr2W8V 550℃ +850℃预热 1130℃　淬油 610℃ ×2h 第一次回火 630℃ ×2h 第二次回火	1647	1449	10.02	30.8	13.0	32.7	1497	1302	11.3	40.7	21.3	479.5	1104	959	11.2
3Cr3Mo3W2V 550℃ +850℃预热 1060℃　淬油 610℃ ×2h 第一次回火 630℃ ×2h 第二次回火	1634	1440	9.2	29.9	12.3	29.5	1441	1333	10.1	42.9	18.7	468.5	947	822	17.3
4Cr5MoSiV 550℃ +850℃预热 1050℃　淬油 590℃ ×2h 第一次回火 600℃ ×2h 第二次回火	1718	1444	11.2	43.7	17.7	49.5	1446	1251	12.1	53.2	41.1	454.5	946	834	20.5
4Cr3Mo2NiVNbB 550℃ +850℃预热 1130℃　淬油 650℃ ×2h 第一次回火 600℃ ×2h 第二次回火	1553	1393	11.6	44.6	14.3	41.2	1369	1237	13	51	20.1	435.5	905	817	12.3

（续）

钢种和热处理工艺 \ 力学性能 \ 试验温度	600℃			650℃						700℃					
	Z（%）	K/J	HV	R_m/MPa	R_{eL}/MPa	A（%）	Z（%）	K/J	HV	R_m/MPa	R_{eL}/MPa	A（%）	Z（%）	K/J	HV
5CrNiMo 550℃预热 850℃淬油 500℃×2h 第一次回火 500℃×2h 第二次回火	91.1	36.4	261.3	177	142	101	96.1	36.3	201.7	99	76	105.9	96.4	70.3	150
5Cr4W5Mo2V 550℃+850℃预热 1130℃ 淬油 640℃×2h 第一次回火 655℃×2h 第二次回火	14.1	15.3	442.5	691	612	6.0	11.6	15.0	395	418	353	23.6	80.6	14.1	361.5
3Cr2W8V 550℃+850℃预热 1130℃ 淬油 610℃×2h 第一次回火 630℃×2h 第二次回火	15.4	25.0	414.5	808	718	5.4	7.82	27.4	398.5	415	364	26.6	70.8	26.1	354.5
3Cr3Mo3W2V 550℃+850℃预热 1060℃ 淬油 610℃×2h 第一次回火 630℃×2h 第二次回火	52.3	28.4	396	783	702	17.9	58	29.2	365	507	449	23.0	80.6	27.4	299.5
4Cr5MoSiV 550℃+850℃预热 1050℃ 淬油 590℃×2h 第一次回火 600℃×2h 第二次回火	72.9	67.7	394	620	556	24	83.2	66.1	362	198	160	53.4	98.8	88.3	346.5
4Cr3Mo2NiVNbB 550℃+850℃预热 1130℃ 淬油 650℃×2h 第一次回火 600℃×2h 第二次回火	40.5	25.7	373	724	650	10	21.4	22.4	350	535	508	14.7	45.3	22.7	323.5

（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 8420—2008）

热作模具钢显微组织评级

1　范围

本标准规定了常用热作模具钢马氏体和晶粒度的评定方法及评定级别。

本标准适用于 5CrNiMo、5Cr4W5Mo2V、3Cr2W8V、3Cr3Mo3W2V、4Cr5MoSiV 和 4Cr3Mo2NiVNbB 钢及其相近钢种制造的锤锻、机锻、热挤压、热冲裁和压铸模具的显微组织评级。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 1299　合金工具钢（GB/T 1299—2000，neq ASTM A681：1994）

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定方法（GB/T 6394—2002，ASTM E112：1996，MOD）

GB/T 11880　模锻锤和大型机械锻压机用模块技术条件

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

3　要求

3.1　热作模具钢的牌号及化学成分应符合 GB/T 1299 和本标准附录 A 的规定。

3.2　模具毛坯锻件应有足够的锻造比及良好的锻后热处理。锻件质量应符合 GB/T 11880 的规定。

4　试样

4.1　试样应从模具工作部位切取，也可用与模具的熔炼炉号、有效尺寸、锻制条件和热处理规范均相同的试样。

4.2　试样在磨制和抛光过程中，其检查面不允许有过热而导致组织变化，试样的制备应符合 GB/T 13298 的规定。

4.3　试样侵蚀剂推荐用 4% 硝酸乙醇溶液或乙醇（80mL）+ 硝酸（10mL）+ 盐酸（10mL）+ 苦味酸（1g）溶液。

5　显微组织级别特征及评定方法

5.1　显微组织均在放大 500 倍的显微镜下进行评定。

5.2　每种热作模具钢按其显微组织特征及马氏体针的最大长度分为 6 级（见表 1），马氏体评级图见图 1 ~ 图 6，评级适用范围见附录 B。

5.3　马氏体均以金相比较法评定，检查不得少于三个视场，取其马氏体针最长的视场对照相应钢种的评级图进行评定。

5.4　当有争议时，可测定马氏体针的最大长度或晶粒度，晶粒度测定应符合 GB/T 6394 的规定。

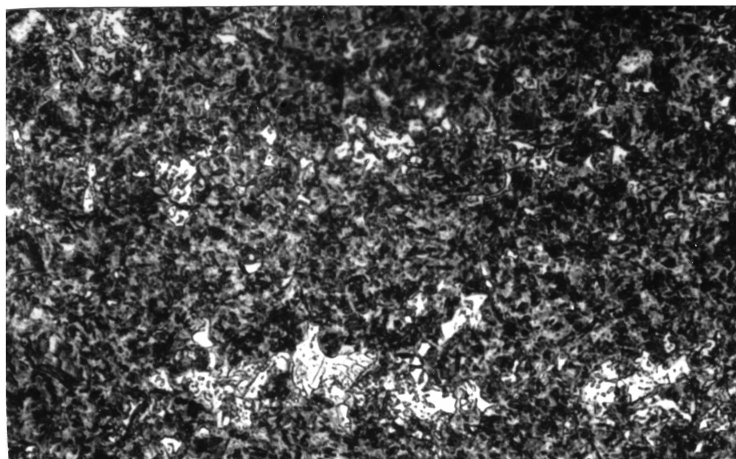
5.5　通常热作模具的马氏体评级以 2 ~ 4 级为宜，晶粒度级别以 7 ~ 10 级为宜。

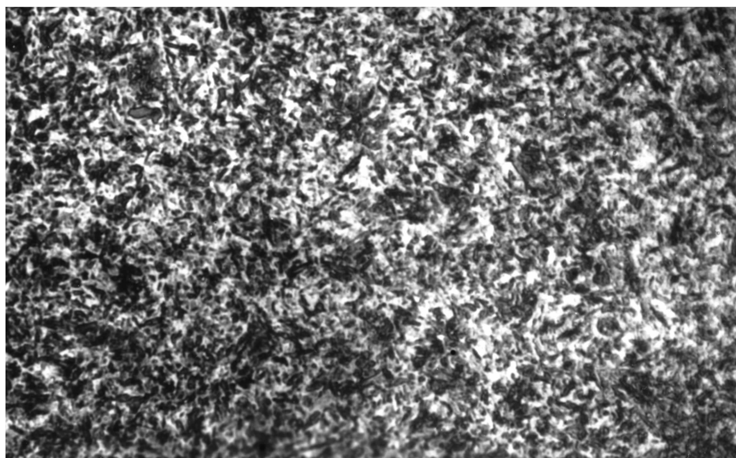
表 1　热作模具钢显微组织特征及马氏体针最大长度

钢号	马氏体级别	显微组织特征	马氏体针最大长度/mm	图号
5CrNiMo	1	马氏体 + 细珠光体 + 铁素体	0.006	图 1a
	2	隐针马氏体 + 极少量残留奥氏体	0.008	图 1b
	3	细针马氏体 + 少量残留奥氏体	0.014	图 1c
	4	针状马氏体 + 残留奥氏体	0.018	图 1d

（续）

钢号	马氏体级别	显微组织特征	马氏体针最大长度/mm	图号
5CrNiMo	5	较粗大针状马氏体+较多残留奥氏体	0.024	图1e
	6	粗大针状马氏体+大量残留奥氏体	0.040	图1f
5Cr4W5Mo2V	1	马氏体+细珠光体+少量碳化物	0.003	图2a
	2	隐针马氏体+极少量残留奥氏体+碳化物	0.004	图2b
	3	细针马氏体+少量残留奥氏体+碳化物	0.010	图2c
	4	针状马氏体+残留奥氏体+碳化物	0.016	图2d
	5	较粗大针状马氏体+较多残留奥氏体+碳化物	0.030	图2e
	6	粗大针状马氏体+大量残留奥氏体+碳化物	0.036	图2f
3Cr2W8V	1	马氏体+细珠光体+少量碳化物	0.003	图3a
	2	隐针马氏体+极少量残留奥氏体+碳化物	0.004	图3b
	3	细针马氏体+少量残留奥氏体+碳化物	0.010	图3c
	4	针状马氏体+残留奥氏体+碳化物	0.016	图3d
	5	较粗大针状马氏体+较多残留奥氏体+碳化物	0.030	图3e
	6	粗大针状马氏体+大量残留奥氏体+碳化物	0.036	图3f
3Cr3Mo3W2V	1	马氏体+细珠光体+少量碳化物	0.003	图4a
	2	隐针马氏体+极少量残留奥氏体+少量碳化物	0.004	图4b
	3	细针马氏体+少量残留奥氏体+少量碳化物	0.010	图4c
	4	针状马氏体+残留奥氏体+少量碳化物	0.016	图4d
	5	较粗大针状马氏体+较多残留奥氏体+极少量碳化物	0.030	图4e
	6	粗大针状马氏体+大量残留奥氏体+极少量碳化物	0.036	图4f
4Cr5MoSiV	1	马氏体+上贝氏体	0.003	图5a
	2	隐针马氏体+极少量残留奥氏体	0.004	图5b
	3	细针马氏体+少量残留奥氏体	0.010	图5c
	4	针状马氏体+残留奥氏体	0.016	图5d
	5	较粗大针状马氏体+较多残留奥氏体	0.030	图5e
	6	粗大针状马氏体+大量残留奥氏体	0.036	图5f
4Cr3Mo2NiVNbB	1	马氏体+细珠光体+针状铁素体+少量碳化物	0.003	图6a
	2	隐针马氏体+极少量残留奥氏体+碳化物	0.004	图6b
	3	细针马氏体+少量残留奥氏体+碳化物	0.010	图6c
	4	针状马氏体+残留奥氏体+碳化物	0.016	图6d
	5	较粗大针状马氏体+较多残留奥氏体+碳化物	0.030	图6e
	6	粗大针状马氏体+大量残留奥氏体+碳化物	0.036	图6f


a) 1级


b) 2级

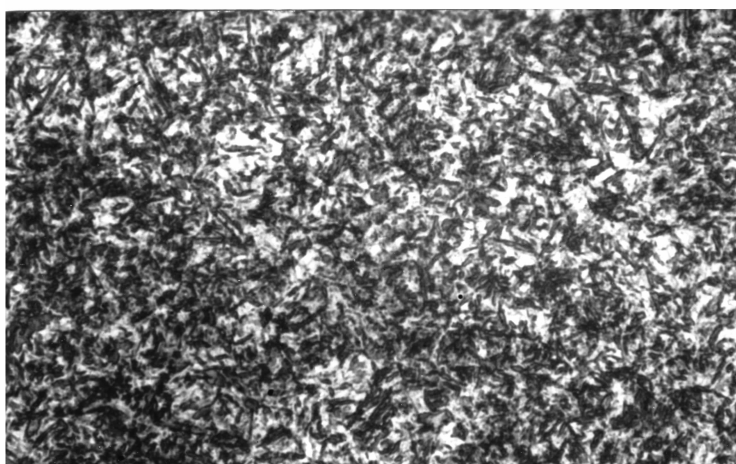
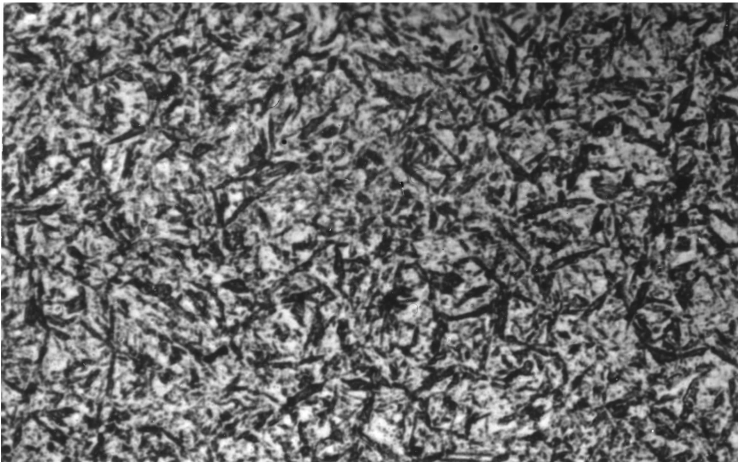
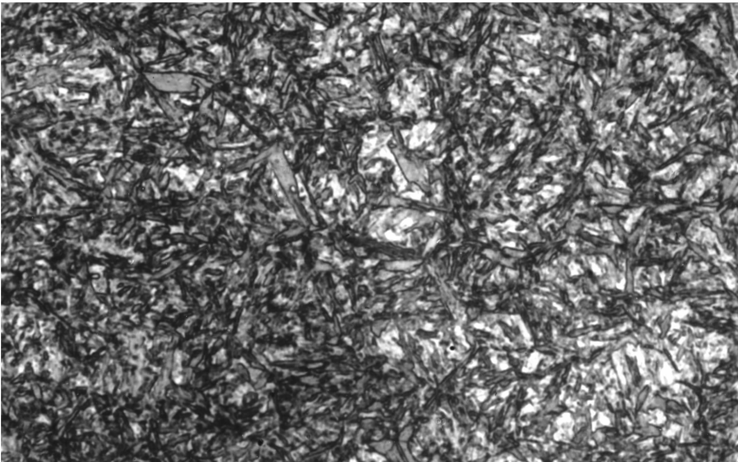

c) 3级

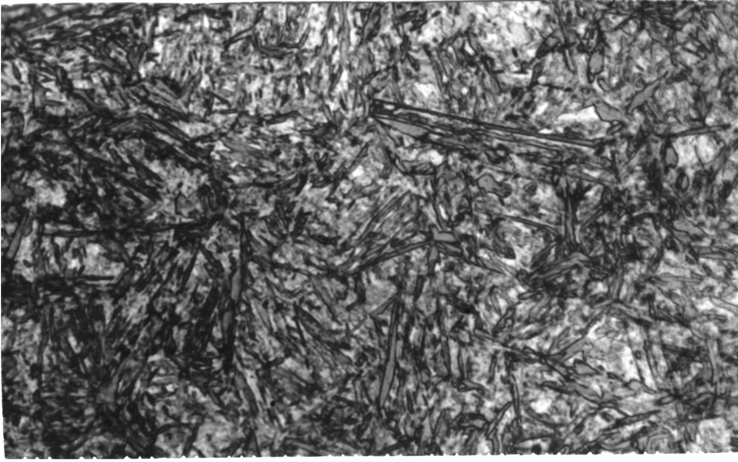
图1　5CrNiMo钢马氏体评级图（×500）



d) 4级

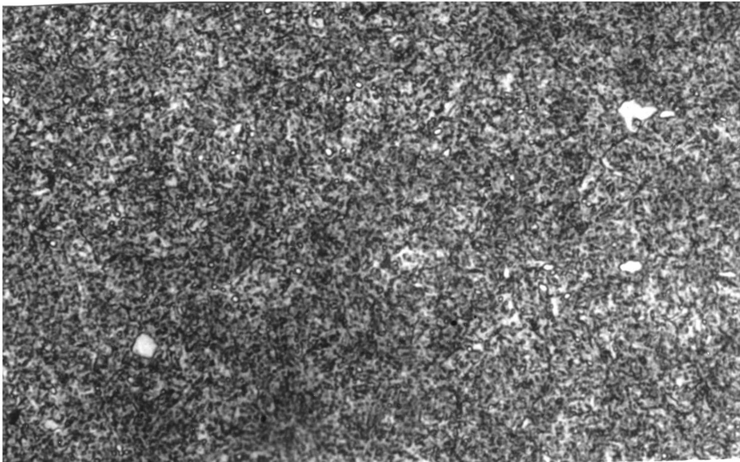


e) 5级

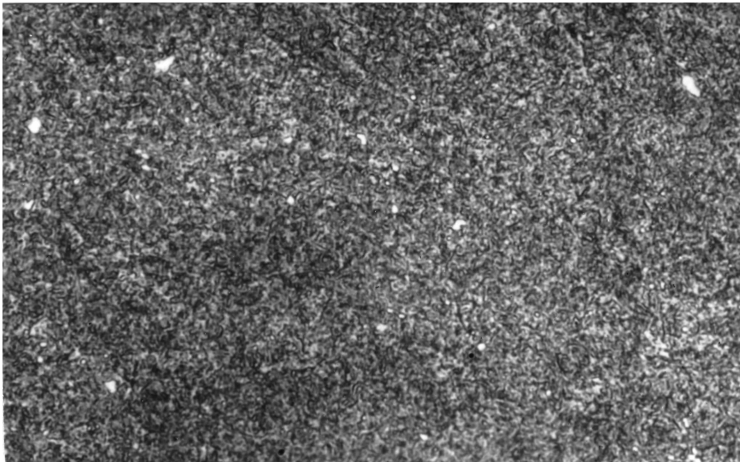


f) 6级

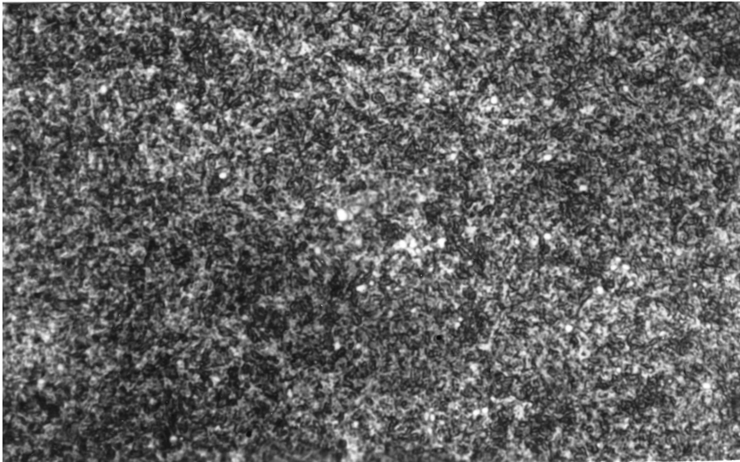
图 1　5CrNiMo 钢马氏体评级图（×500）（续）



a) 1级

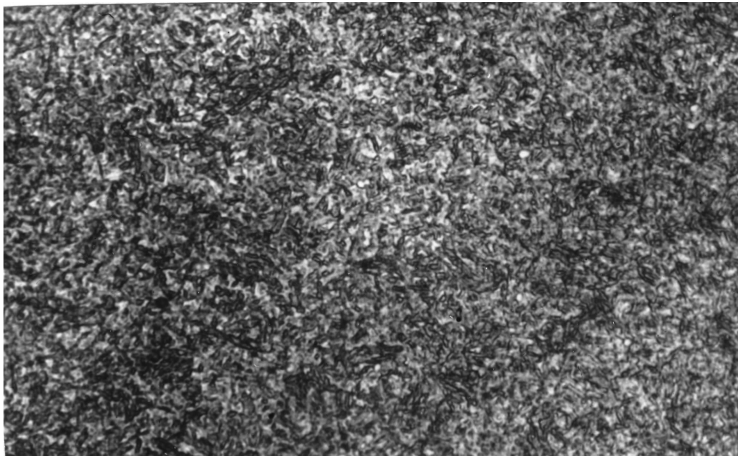


b) 2级

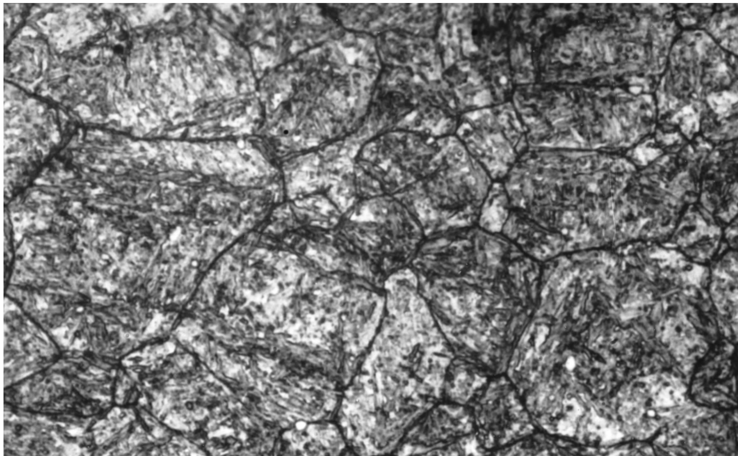


c) 3级

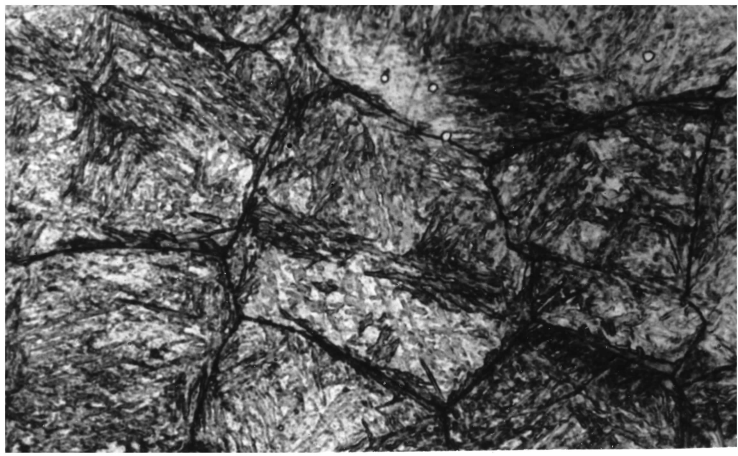
图 2　5Cr4W5Mo2V 钢马氏体评级图（×500）



d) 4级

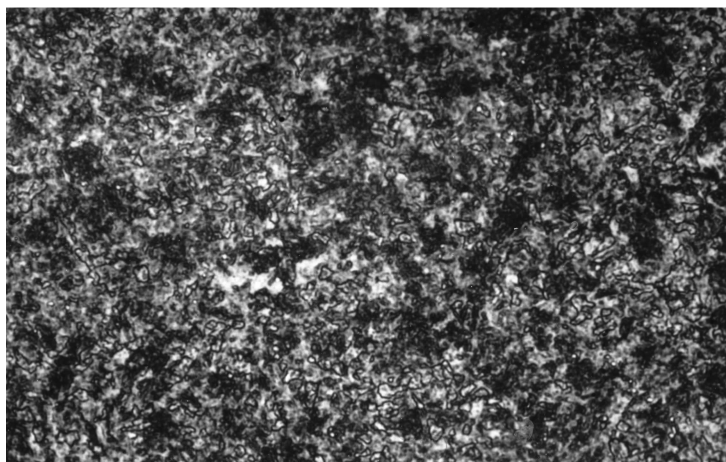


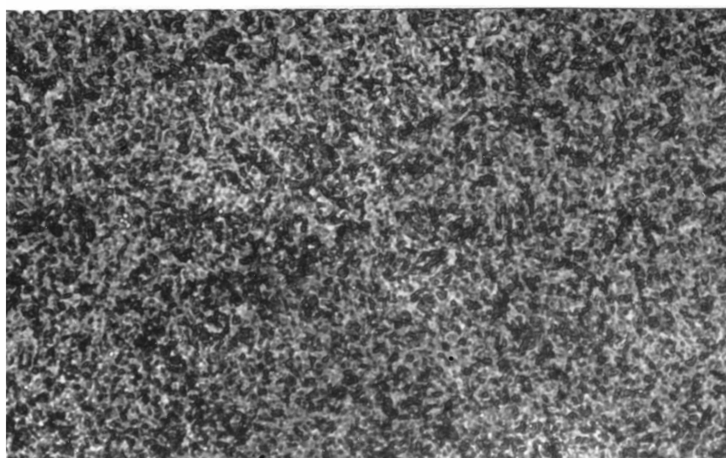
e) 5级



f) 6级

图 2　5Cr4W5Mo2V 钢马氏体评级图（×500）（续）


a) 1级


b) 2级

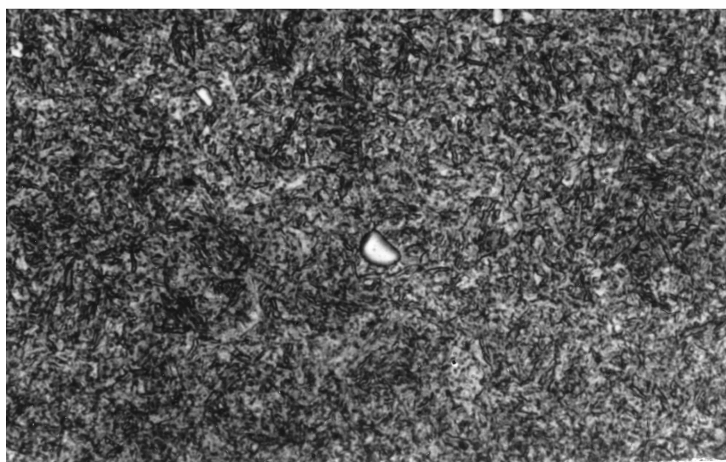
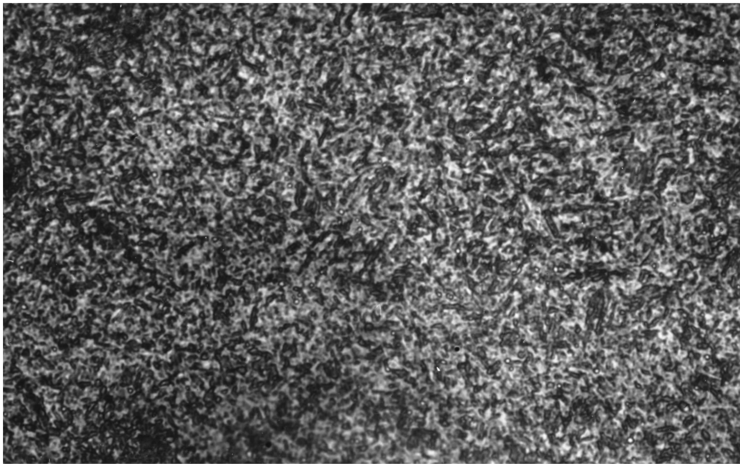
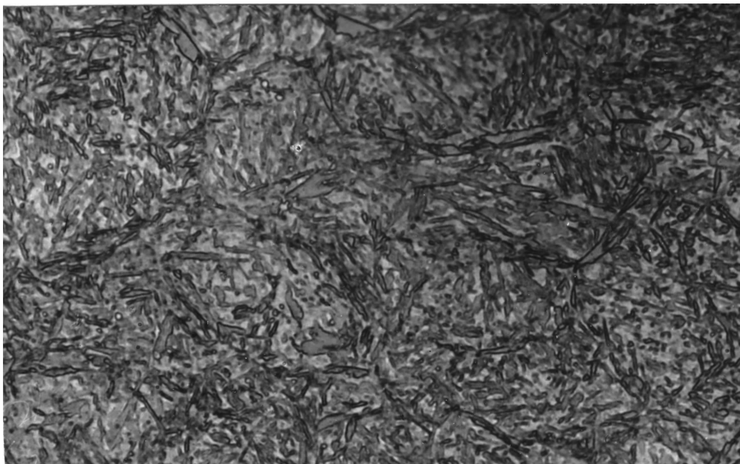

c) 3级

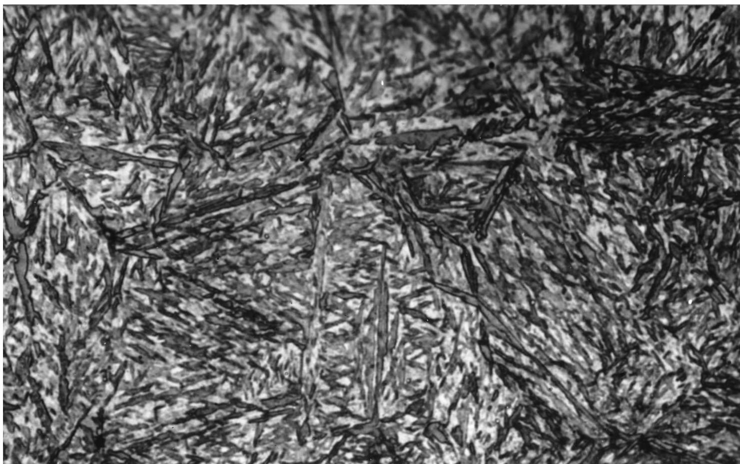
图3　3Cr2W8V钢马氏体评级图（×500）



d) 4级

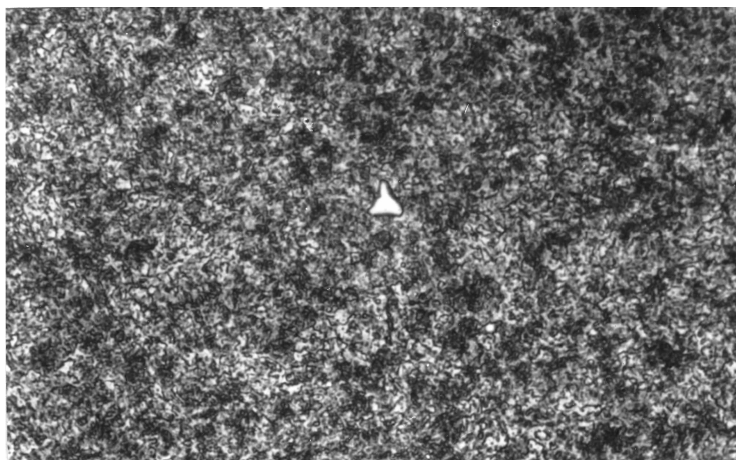


e) 5级

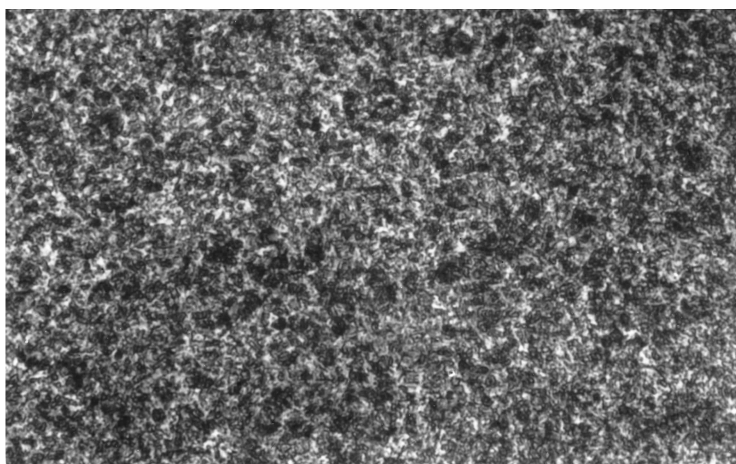


f) 6级

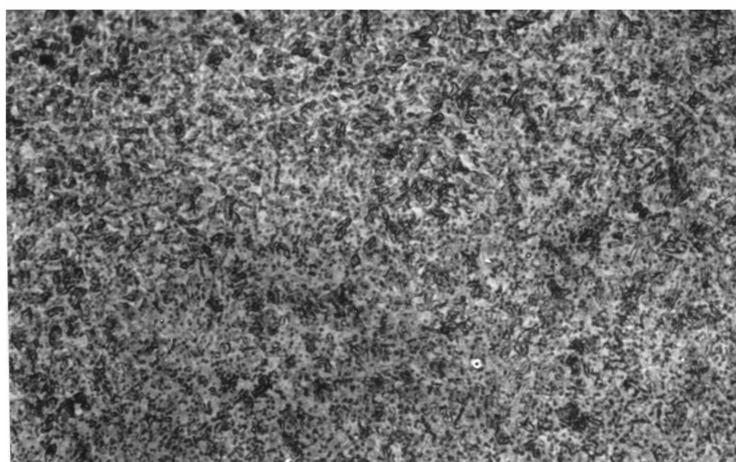
图3 3Cr2W8V 钢马氏体评级图（×500）（续）



a) 1级

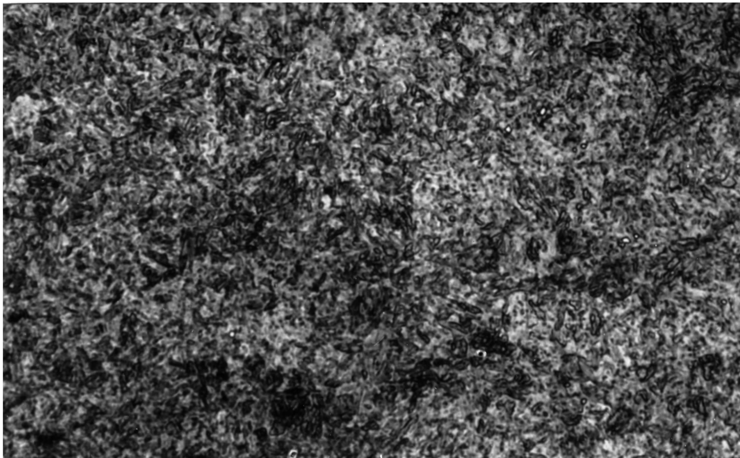


b) 2级

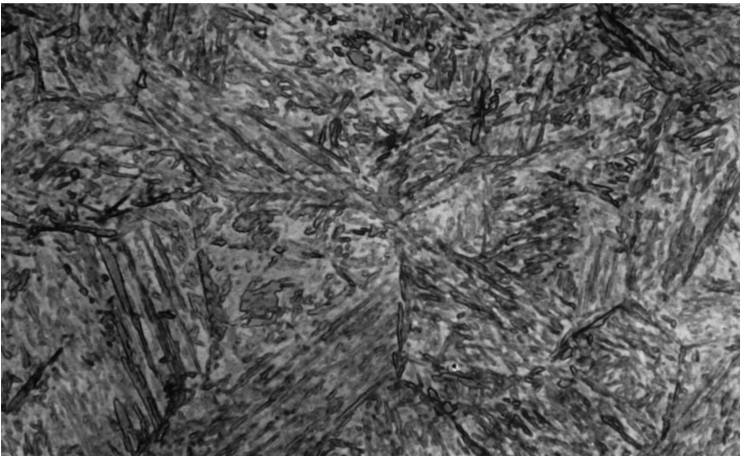


c) 3级

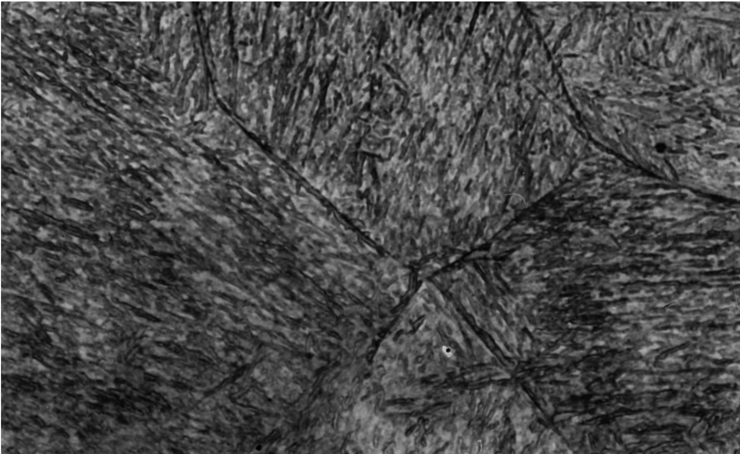
图4　3Cr3Mo3W2V 钢马氏体评级图（×500）



d) 4级

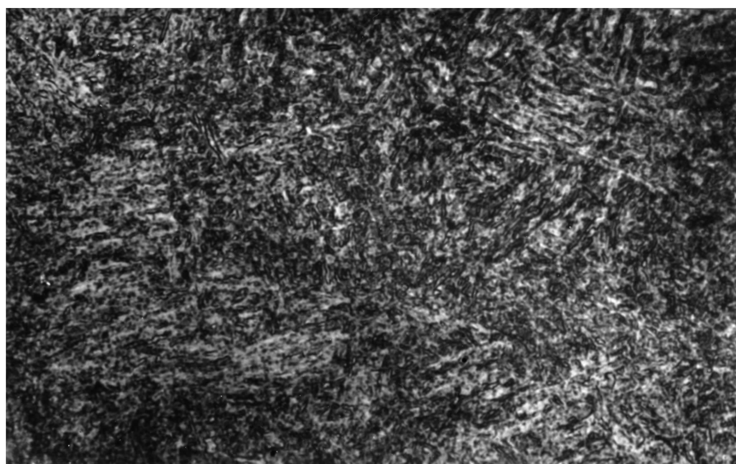


e) 5级

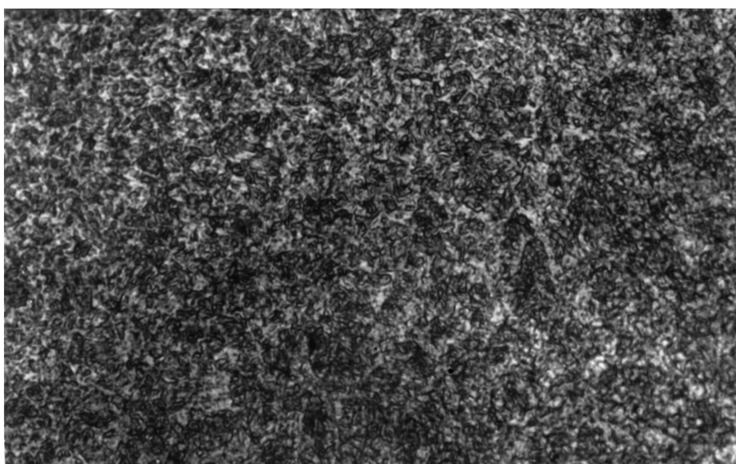


f) 6级

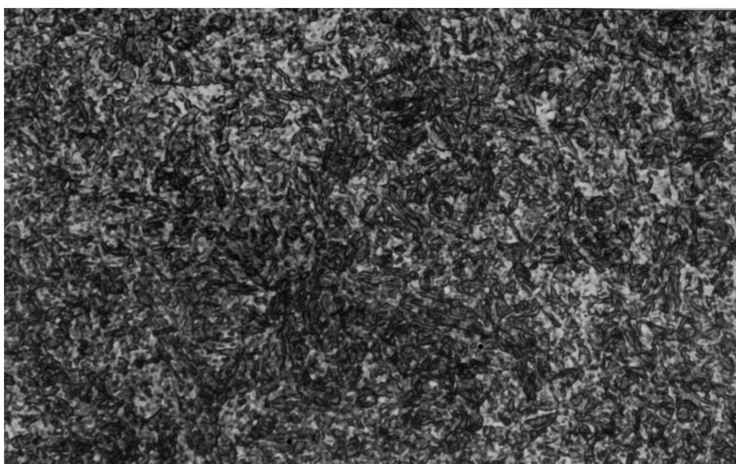
图4　3Cr3Mo3W2V 钢马氏体评级图（×500）（续）



a) 1级

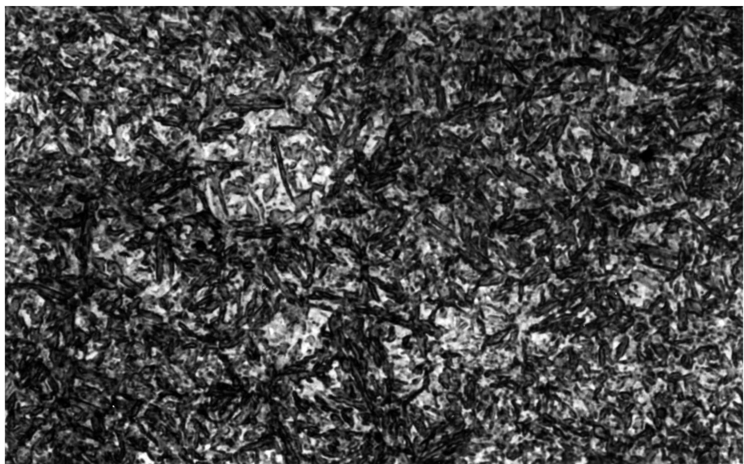


b) 2级

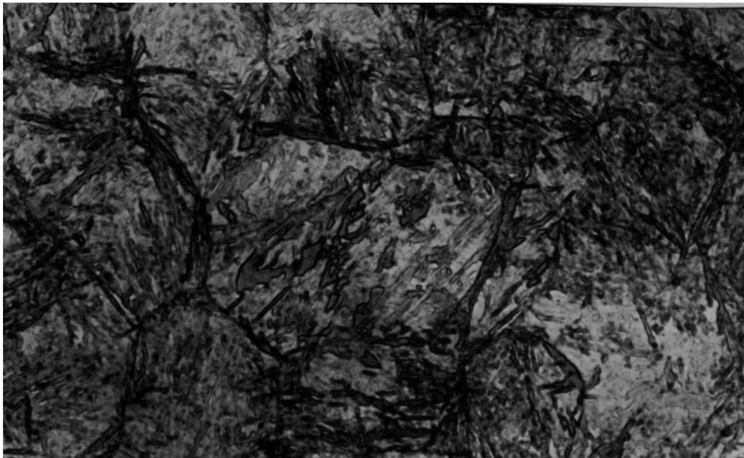


c) 3级

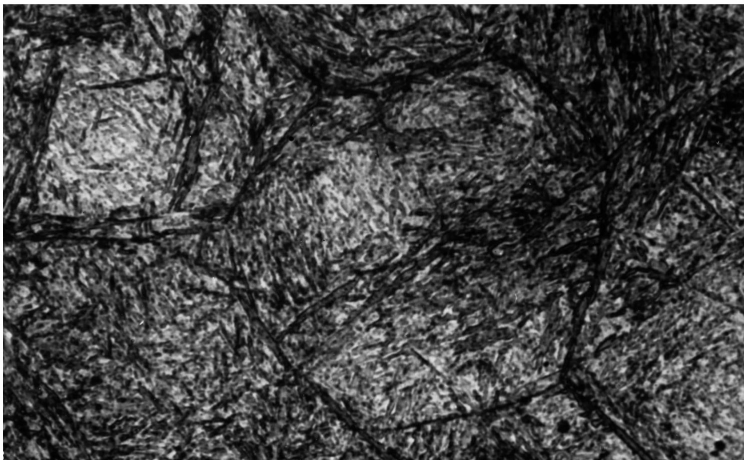
图 5　4Cr5MoSiV 钢马氏体评级图（×500）



d) 4级

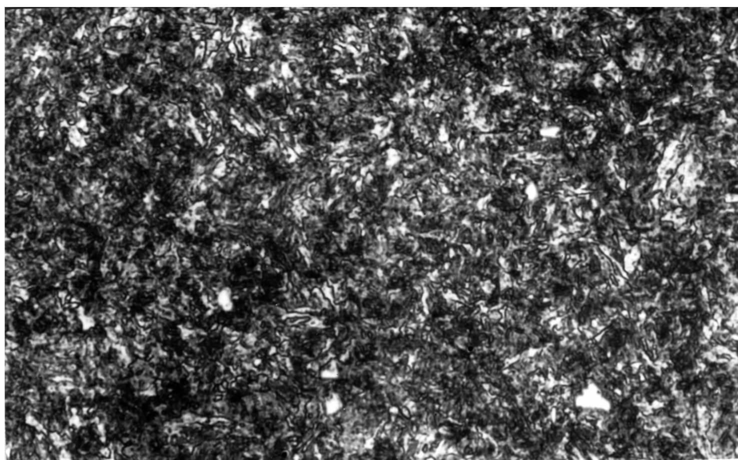


e) 5级

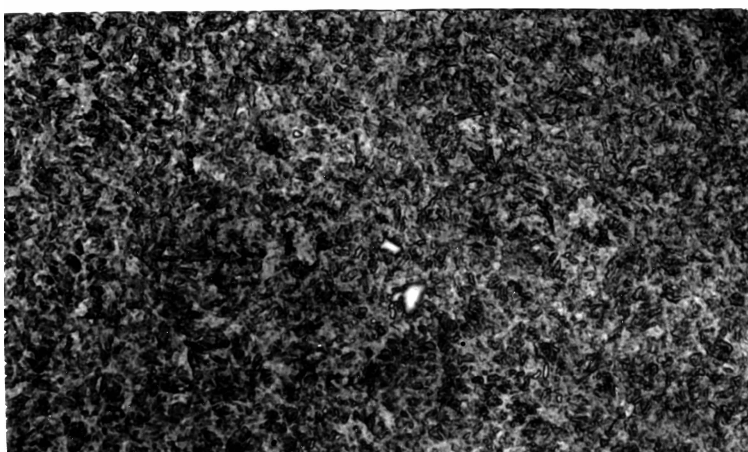


f) 6级

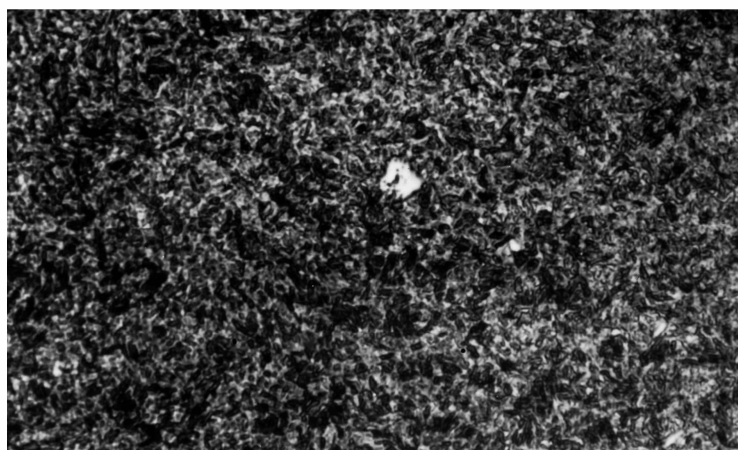
图5 4Cr5MoSiV 钢马氏体评级图（×500）（续）



a) 1级

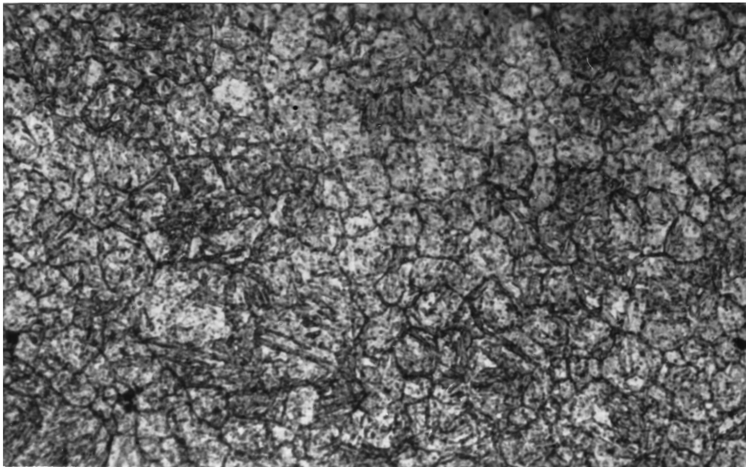


b) 2级



c) 3级

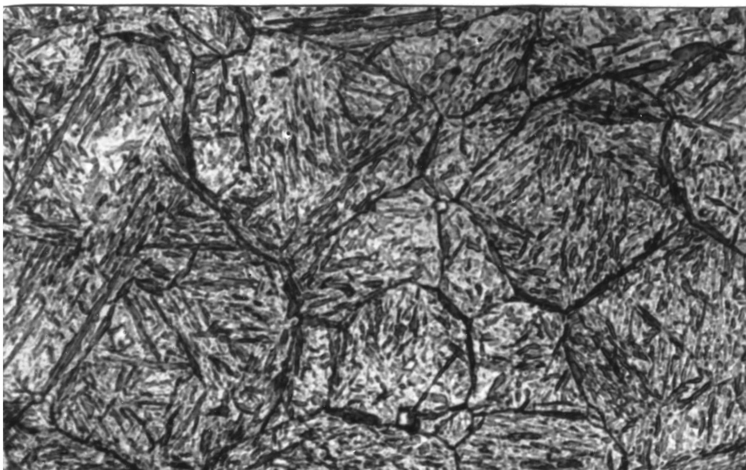
图6　4Cr3Mo2NiVNbB 钢马氏体评级图（×500）



d) 4级



e) 5级



f) 6级

图 6 4Cr3Mo2NiVNbB 钢马氏体评级图（×500）（续）

6　检验报告

检验报告应包括下列内容：

a）试样或模具名称、图号、材料成分或钢号、热处理工艺及炉批号；

b）检验数量及部位；

c）检验结果，所附照片应注明放大倍数和侵蚀剂；

d）检验日期及检验者。

附　录　A

（资料性附录）

4Cr3Mo2NiVNbB 钢的有关参数

A.1　化学成分

化学成分见表A.1。

表A.1　化学成分（质量分数）　（%）

C	Cr	Mo	Ni	V	Nb	B	Si	Mn	S	P
0.39～0.42	2.60～2.80	2.05～2.20	0.95～1.05	1.20～1.28	0.24～0.26	0.0020～0.0024	0.17～0.19	0.15～0.28	0.010～0.018	0.012～0.014

A.2　临界点

临界点见表A.2。

表A.2　临界点　（单位：℃）

Ac_1	Ms
770	300

A.3　锻造工艺

锻造工艺见表A.3。

表A.3　锻造工艺

加热温度/℃	始锻温度/℃	终锻温度/℃	冷却方式
1100～1150	1000～1100	≥900	灰砂冷

A.4　热处理工艺

退火：850℃ ±10℃保温3h，炉冷至720℃ ±10℃保温5h，再炉冷，197～217HBW。

淬火回火：加热至1130℃保温后油淬，670℃回火两次，42～44HRC；640℃回火两次，47～48HRC。

A.5　特性及用途

具有优良的热稳定性，高温强度和热疲劳性能。可在工作条件苛刻、工作温度较高的工况下工作。

附　录　B

（规范性附录）

热作模具钢显微组织评级图适用范围

热作模具钢显微组织评级图适用范围见表B.1。

表 B.1 适用范围

评级图号	适用钢种	用途
1-a～1-f	5CrMnMo 5CrMnMoSiV 5CrNiMoV 4SiMnMoV 5Cr2NiMoV	锤锻模 大截面压力机锻模 冲裁模等
2-a～2-f	5Cr4Mo3SiMnVAl	工作温度在 600～700℃的中、小机锻模
3-a～3-f	3CrW8MoV	热挤压模 热冲裁模
4-a～4-f	4Cr3Mo3VSi 4Cr3Mo3V 4Cr3Mo2MnVB	工作温度在 600～700℃的中、小机锻模，压铸模
5-a～5-f	4Cr5Mo2MnVSi 4Cr5MoSiV 4Cr5W2VSi 4Cr5WMoVSi	冲裁模 铝压铸模 工作温度在 600℃左右的中、小机锻模
6-a～6-f	4Cr3Mo3W4VNb 4Cr3Mo2MnVNbB 4Cr3Mo2MnWV	工作温度在 600～700℃的中、小机锻模，压铸模

第二十节　珠光体球墨铸铁零件感应淬火金相检验

一、概论

机械行业广泛应用球墨铸铁制造各种机械零件，本标准制定之前还没有一套严格的、统一的球墨铸铁金相检验标准，来指导热处理工艺和进行质量检验。本标准的制定对广泛采用球墨铸铁，控制球墨铸铁感应淬火质量具有重要作用。本标准于 1988 年制定为专业标准 ZB J36 010—1988，后于 1999 年修订为 JB/T 9205—1999，2008 年再次修订为 JB/T 9205—2008。

二、标准应用说明

1. 金相组织

（1）球墨铸铁中的球状石墨，在短时间的感应加热过程中，除少量石墨碳扩散到牛眼状的铁素体组织外，其形态基本没有变化，组织组分比钢复杂。金相组织中马氏体组织级别的评定，从过热组织到欠热组织顺序排列，订为八级组织级别图片，以适应球墨铸铁淬火后的金相组织检查。其中 1～2 级属于过热形成的粗马氏体，是不合格组织；7～8 级为加热不足，形成微细马氏体和未溶解珠光体、铁素体组织，见表 4.20-1。其适应的感应淬火工艺规范，见表 4.20-2。

确定金相组织的八个等级中，3～6 级是合格的。对工艺上能否保证做到，也就是标准是否有

可行性，做了现场调查。金相组织调查以现场生产工件抽样块为主，样块的热处理工艺规范和实际工件的工艺规范完全一致。经解剖检查金相组织评定产品质量，我们共收集了227块试样，分别检查结果见表4.20-3。从表4.20-3中可以看出，有97%的试样是在合格范围内的。

表4.20-1　珠光体球墨铸铁硬化层深和金相组织

热处理状况	表面硬度 HRC	层深 /mm	金相组织	级别
过热	53	6.3	粗马氏体，大块状残留奥氏体，莱氏体、球状石墨	1
	53	6.0	粗马氏体、大块状残留奥氏体、球状石墨	2
正常	51	4.4	马氏体、块状残留奥氏体，球状石墨	3
	52	3.0	马氏体、少量点状残留奥氏体，球状石墨	4
	52	2.63	细马氏体，球状石墨	5
	52	1.68	细马氏体，少量未溶铁素体球状石墨	6
不足	31.5	1.13	微细马氏体，少量未溶珠光体、未溶铁素体，球状石墨	7
	30	0.85	微细马氏体，较多量未溶珠光体，未溶铁素体，球状石墨	8

表4.20-2　珠光体球墨铸铁感应加热工艺规范（中频电流频率8000Hz）

编号	加热时间/s	功率/kW	电压/V	电流/A	功率因数
1	5.5	20	375	110	+0.95
2	5.0				
3	4.5				
4	4.0				
5	3.5				
6	3.0				
7	3.2	15	330	58	+0.95
8	3.0				

注：试样规格为ϕ40mm×16mm×10mm。

表4.20-3　试块检查结果

组织级别	1	2	3	4	5	6	7	8
试块件数	0	0	24	84	62	52	7	0
占百分比（%）	0	0	10.4	36.4	27.5	22.6	3	0

（2）对铸铁金相组织的要求。铸态零件能否直接进行中频感应淬火，除有良好的力学性能外，

还须具有感应淬火所要求的以珠光体为基体的金相组织。

珠光体含量≥75%；珠光体形态为片状；石墨球化率为70%以上；石墨形态为球状、团状；碳化物、磷共晶总量<5%；硬度为220～260HBW。

2. 硬化层的测定方法

自国际标准化组织公布了ISO 3754：1976（E）《钢——感应淬火有效硬化层深度的测定方法》后，世界各国对钢件硬化层深度有了统一的测量方法，我国也制定了GB/T 5617—2005《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》。但对球墨铸铁硬化层深度的测定方法，还未查到有关标准。我们参照了国际上钢件的硬化层深度测量方法，考虑到球墨铸铁组织的复杂性，提出相应的测定方法。

（1）金相法。金相法是采用界限金相组织划线测量硬化层深度的方法。

球墨铸铁中珠光体含量不低于75%时，经高、中频感应淬火，并经150～200℃低温回火后，其金相组织界限很明显，很容易划线测量。本标准适用于珠光体含量不低于75%的球墨铸铁淬火组织。淬火后硬化层是指零件表面至珠光体面积分数占20%处的垂直距离（珠光体含量采用定量金相法测定）。

（2）硬度测定法（有效硬化层深度）。为搞清球墨铸铁应用金相法测量硬化层和硬度法测量硬化层的差异，我们参照了国际标准ISO 3754。该标准规定：钢制件有效硬化层深度（DS），是指零件淬火后从表面到维氏硬度等于界限硬度值之间的垂直距离。所谓界限硬度是零件规定的表面硬度值下限的0.8倍。即

界限硬度HV＝0.8×表面硬度下限值（HV）

例如，珠光体球墨铸铁曲轴表面硬度下限值为46HRC，相当于449HV，则其界限硬度值＝0.8×449HV＝360HV，用显微硬度计测量硬化层深度，其硬度变化曲线见图4.20-1。

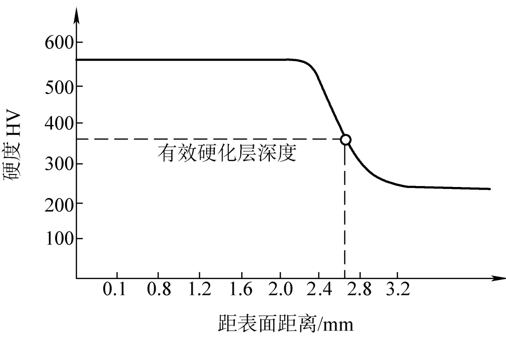


图4.20-1　硬化层硬度变化曲线

金相法从试样表面测至面积分数为20%珠光体处，两方法试验结果见表4.20-4。

表4.20-4　金相法和硬度法硬化层试验结果　（单位：mm）

名称	金相法硬化层深度	硬度法有效硬化层深度（界限硬度值360HV）
曲轴（珠光体球墨铸铁）	2.68	2.7
	2.67	2.7

从表4.20-4中的试验结果可以看出，两种方法测量值相差很少，在测量误差范围之内。但在试验过程中发现，球墨铸铁用硬度法测量硬化层有效深度有下列缺点。

1）经高、中频感应淬火后的球墨铸铁组织较为复杂，大量的球状石墨用硬度法测量时，金刚石锥头难以避开石墨球。

2）用硬度法测定硬化层，为防止负荷较大时，压痕周边接近石墨球而影响测量值的精确性，其试验力最好采用0.49～2.94N，以显微硬度法为宜。

珠光体球墨铸铁基体组织细致，经高、中频感应淬火后，过渡区组织界限明显，划线测量较为

容易，与硬度法相比，测量误差小，因此本标准仍采用金相法。

3. 检验方法

球墨铸铁感应淬火零件的检验方法有很多种。除断口检验不适用外，硬化层的低倍冷触、硬度测定及金相组织检验等均适用。由于球墨铸铁硬化层过渡区域短，界限组织明显，用冷触方法能清晰显示出零件硬化层分布。要全面鉴定中频淬火零件的质量，仍需采用金相组织检验及硬度测定法。产品质量检验包括以下几方面。

1）生产中按要求定期抽取有代表性零件，进行金相组织、层深、硬度等检验，观察是否符合图样要求。

2）对重要零件按图样要求进行磁粉检测，检测有否淬火裂纹。

3）对新产品投产、生产工艺的更改、设备条件变化等，产品零件需全面质量检验。即检验金相组织、层深、硬度等指标是否符合图样要求。在硬化区域内要测几点硬度，了解有无软点，必要时应纵向取样，检查硬化区域层深的分布。硬化层金相组织在金相显微镜下放大400倍观察。硬化层深度在金相显微镜下放大100倍测量。

4. 金相样品的选取与制备

（1）取样位置。选取有代表性的金相试样是获得正确检验结果的重要环节。形状简单的零件在硬化区中部取样，见图4.20-2。要求圆角处淬火零件的取样部位，见图4.20-3。要求硬化层连续的变截面轴类零件取样位置，见图4.20-4。

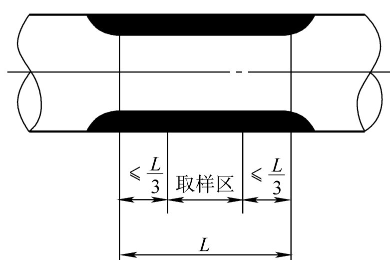


图4.20-2　形状简单的零件取样部位

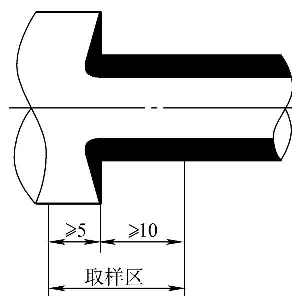


图4.20-3　圆角处淬火的零件取样部位

（2）样品的制备。球墨铸铁样品的制备是一项困难的工作，球墨铸铁经感应淬火后，样品的制削难度更大，基体组织硬，石墨球软，磨制时稍有不慎造成石墨球拖尾或剥落，样品表面在显微镜下观察呈一片黑色。有的因石墨球变形，而不能反映真实的金相组织。因此，操作正确、熟练是制作样品的关键。

1）磨光。首先将切割后的样品磨面在砂轮上平整，然后依次用280号、0/1号、0/3号、0/5号砂纸磨制，每换一道砂纸需将样品转90°。样品由磨盘中心移至边缘，返回时样品应提离砂纸，这样进行3～5次。一定不要来回往复研磨，以防石墨拖尾或剥落。在最后一道精磨时用力不宜过大，时间不宜过长，以免样品表面氧化产生紊乱层，给抛光带来困难。精心磨制后的样品，经清洗吹干后可置于显微镜下观察，视场内呈现出一个方向的细磨痕，球墨轮廓清晰，呈灰色，见图4.20-5，一经抛光即可有良好的效果。

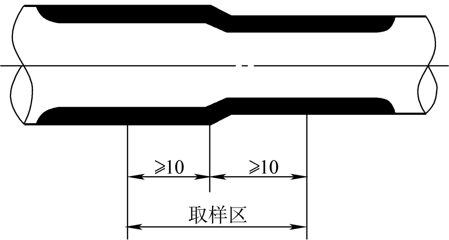


图 4.20-4　变截面轴类零件取样部位

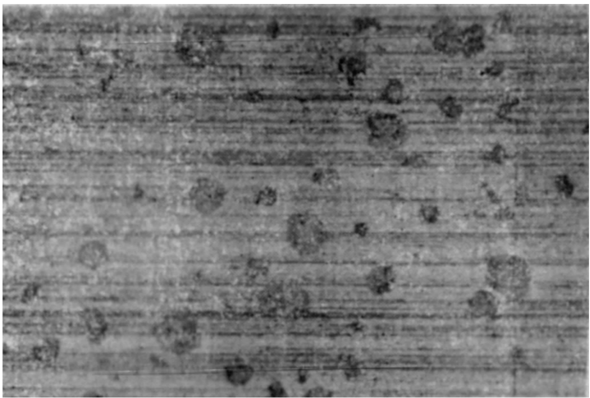


图 4.20-5　精磨后试样（×100）

2）粗抛光。把试样磨面均衡地压在旋转抛光盘上，并不断地将试样由磨盘中心至边缘往返旋转进行抛光。抛光粉以三氧化二铬（Cr_2O_3）效果最佳。因为它对石墨球的剥落程度最轻，同时又具有硬度高的特点。为了提高抛光效果，在三氧化二铬抛光液中添加一定量的铬酐，是保护石墨不剥落方法之一，抛光液的配方如下：

水	500mL
三氧化二铬	10～15g
铬酐（CrO_3）	3～5g

将配好的抛光液均匀搅拌呈悬浮液状态，洒在细帆布抛光盘上，抛光速度为 700～1200r/min，经 3～5min 可全部消除细砂纸磨痕。

控制抛光液温度也很重要，过湿或过干都能损坏石墨的完整，检查抛光液温度是否恰当，可由磨面上水膜蒸发时间来判定。当磨片提离抛光盘时，磨面上水膜在 1～5s 内蒸发掉，其湿度为恰当。

3）精抛光。洗净磨面及试样周边脏物，移至精抛光盘，抛光织物以短毛丝绒为底，白纺绸为面的双层抛光织物为最佳。抛光剂是清水或沉淀后的稀液，精抛 5～10min。为了防止石墨球的剥落，试样应移至抛光盘近中心处抛光。如有石墨球拖尾时，可将试样作反方向转动，并减轻压力，就能获得良好的效果。

人造金刚石研磨膏也是抛光球墨铸铁的良好磨料。只需将少许磨膏用手指嵌入织物，抛光时用少量水即可。切勿冲洗，以免研磨膏冲失，而降低抛光效果。以采用 2.5#～3#粒度的研磨膏比较适宜。

4）侵蚀。精心制备后的试样用 2%～4%（体积分数）的硝酸酒精溶液侵蚀，直至显示出清晰的硬化层为止，即可洗净吹干。

在制备试样过程中，冲洗液温度的选择也是非常重要的。因为球墨铸铁基体组织复杂，除有大量球墨外，还有孔洞等，侵蚀液极易渗入孔洞及球墨边缘或剥落处。用传统方法凉水冲洗达不到理想的效果。用酒精效果也不理想，其缺点是磨面呈深浅不同颜色的花状态。有时，马氏体针叶的粗细难以区分。为得到正确的显示结果，可用 80℃以上的热水冲洗。因为热水的渗透及挥发作用要快一些，能迅速洗净孔洞内脏物，在吹干后进行金相观察时，整个基体金相组织清晰，马氏体针叶层次清楚，球墨周围无水渍，即使在球墨剥落的孔洞处，也很干净平整。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 9205—2008）

珠光体球墨铸铁零件感应淬火金相检验

1　范围

本标准规定了珠光体球墨铸铁零件感应淬火金相检验的技术要求及相应的检验方法。适用于珠光体体积系数不低于75%的球墨铸铁零件经高、中频感应淬火低温回火（回火温度≤200℃）后的硬化层金相组织及硬化层深度的检验。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

3　术语和定义

GB/T 7232 中确立的及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　界限显微组织　delimitation microstructure

用面积分数20%珠光体为界限组织。特殊情况时经有关各方协商，也可采用其他界限组织。

4　技术要求

4.1　零件的表面硬度及硬化层深度应符合产品图样的要求。

4.2　零件经高、中频感应淬火后，表面不允许有淬火裂纹、灼伤等缺陷。

4.3　硬化层的显微组织按珠光体球墨铸铁零件感应淬火组织评级图进行对照评定（见图1）。硬化层显微组织分级说明见表1，其中3~6级为合格。有特殊要求时，按有关技术文件规定执行。

表1　硬化层显微组织分级说明

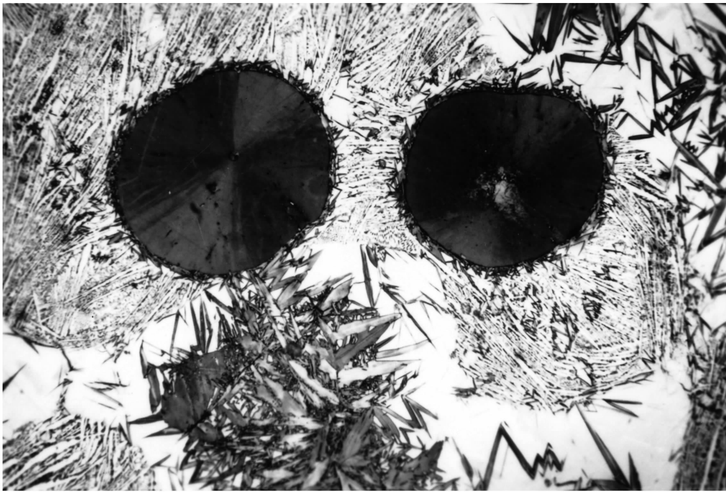
级别	组织特征	图号
1	粗马氏体、大块状残留奥氏体、莱氏体、球状石墨	图1a
2	粗马氏体、大块状残留奥氏体、球状石墨	图1b
3	马氏体、块状残留奥氏体、球状石墨	图1c
4	马氏体、少量残留奥氏体、球状石墨	图1d
5	细马氏体、球状石墨	图1e
6	细马氏体、少量未溶铁素体、球状石墨	图1f
7	微细马氏体、少量未溶珠光体、未溶铁素体、球状石墨	图1g
8	微细马氏体、较多量未溶珠光体、未溶铁素体、球状石墨	图1h

5　试样的制备

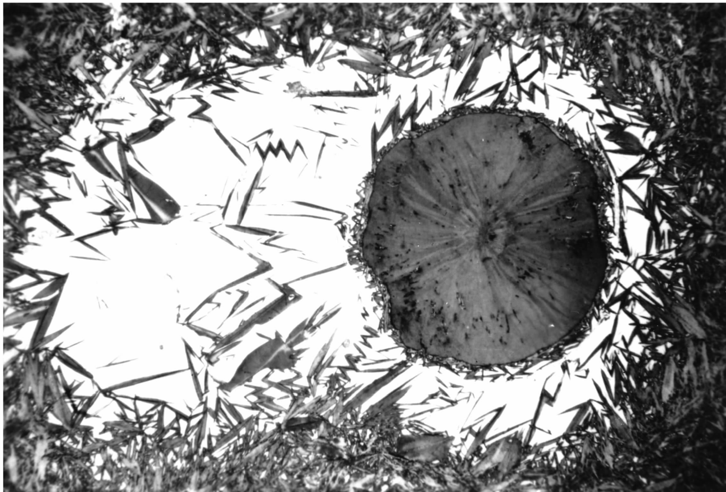
5.1　取样：在零件感应淬火区中部按零件技术条件规定的位置截取。

5.2　试样的抛光面应与表面垂直，用2%~5%硝酸酒精溶液浸蚀，直到显示出清晰的硬化层为止。

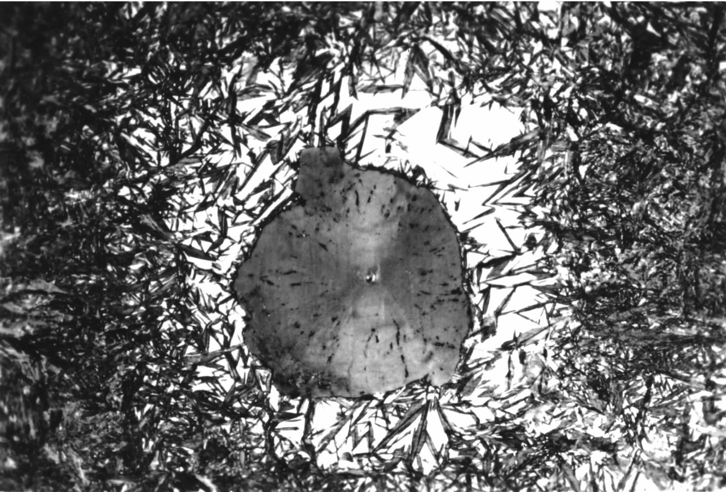
5.3　试样在制备过程中不应改变原有的组织。



a) 1级

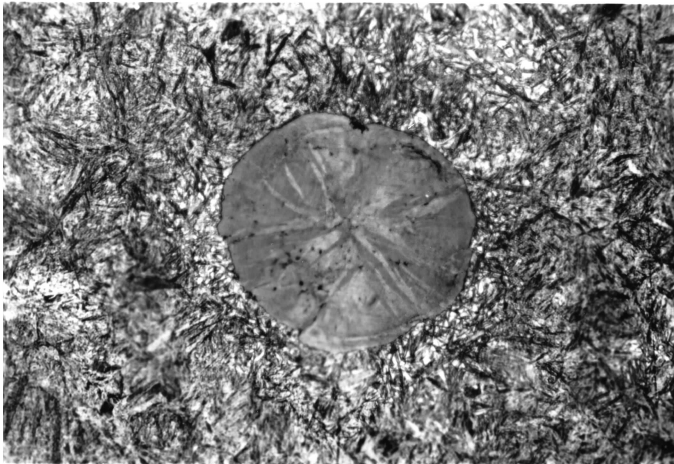


b) 2级

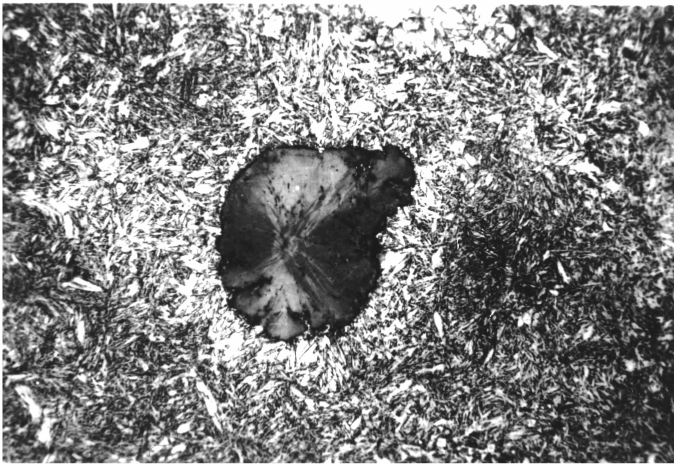


c) 3级

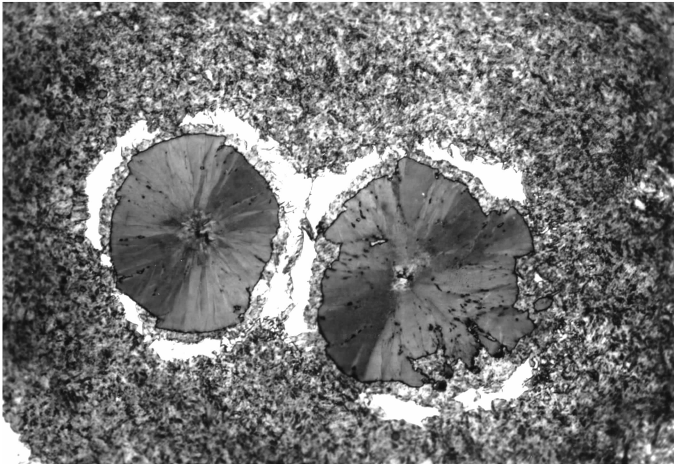
图 1　珠光体球墨铸铁零件感应淬火组织评级图（×400）



d) 4级

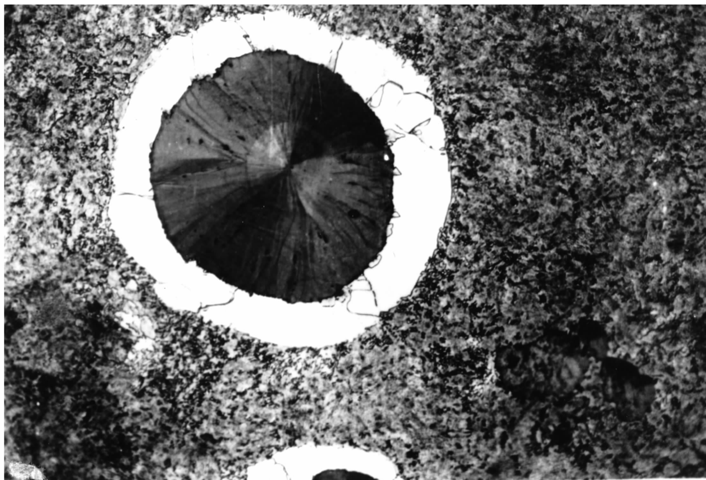


e) 5级

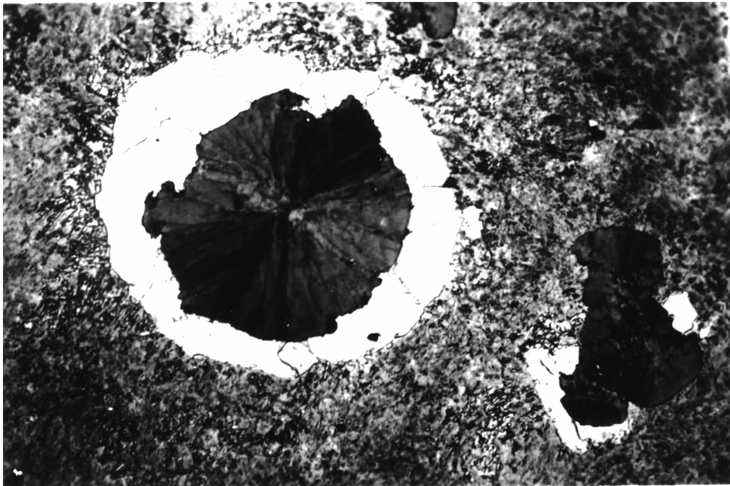


f) 6级

图1　珠光体球墨铸铁零件感应淬火组织评级图（×400）（续一）



g) 7级



h) 8级

图1 珠光体球墨铸铁零件感应淬火组织评级图（×400）（续二）

6 检验方法

6.1 硬化层显微组织在金相显微镜下放大400倍观察。

6.2 硬化层的深度在金相显微镜下放大100倍测量（见图2）。

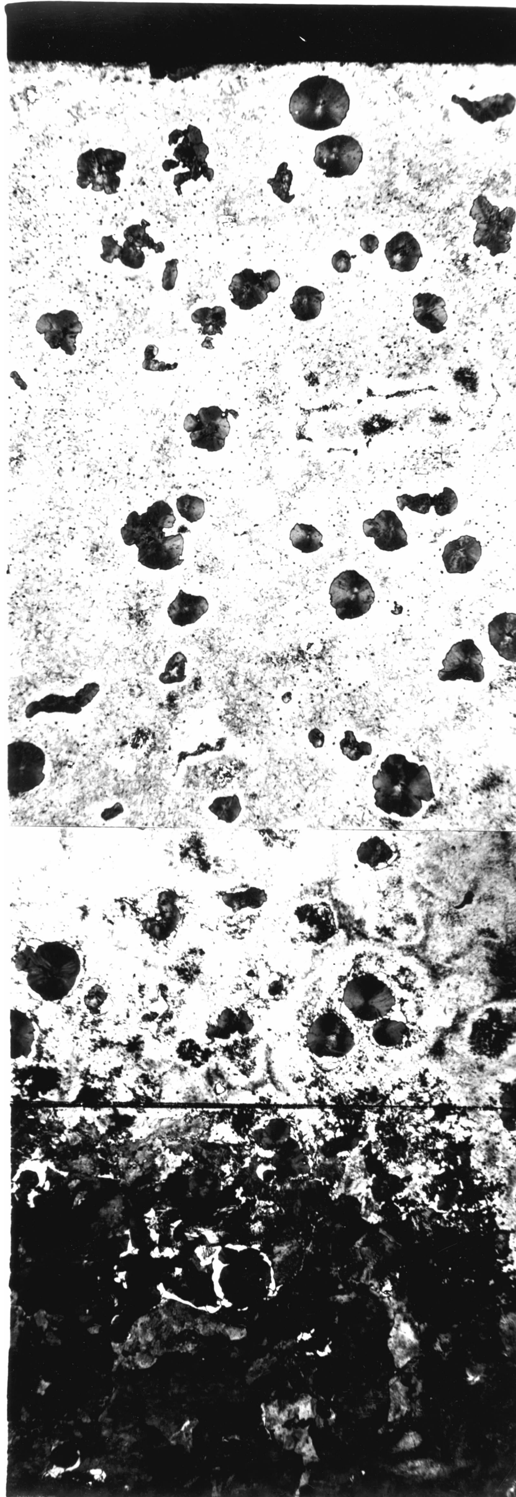


图 2　硬化层深度测量标准图（×100）

第二十一节　中碳钢与中碳合金结构钢马氏体等级

一、概论

中碳钢及中碳合金结构钢是机械行业所用钢材较普通的一种。使用状态一般为调质态或低温回火马氏体，其力学性能在很大程度上取决于淬火马氏体的粗细。因此，在淬火后检查马氏体的等级是至关重要的。

为了满足需要，机床行业于1984年制定了JB/GQ 1050—1984《45钢、40Cr钢淬火马氏体金相检验》。多年来，该标准不仅在机床行业广泛应用，其他行业（如冶金、汽车、拖拉机等）也均有采用。本标准是在此基础上编制，最近一次修订是2008年。

二、标准应用说明

为确定马氏体等级，对淬火后各种尺寸和形态马氏体的中碳钢和中碳合金钢的力学性能和热处理工艺性能进行了试验研究。此外，标准也规定了确定马氏体等级的检验方法。

1. 性能试验

本标准的各种性能试验选用了不同生产企业、不同炉号的45钢、40Cr钢，经化学分析检验，组织检验合格后，制成各种性能试块。同一种性能试样分成几组，各组选用不同的温度加热。有些试验为了避免淬裂，均在正常淬火温度下等温，再淬入油或水中，从而获得不同等级的马氏体，经180℃回火后，进行性能试验。

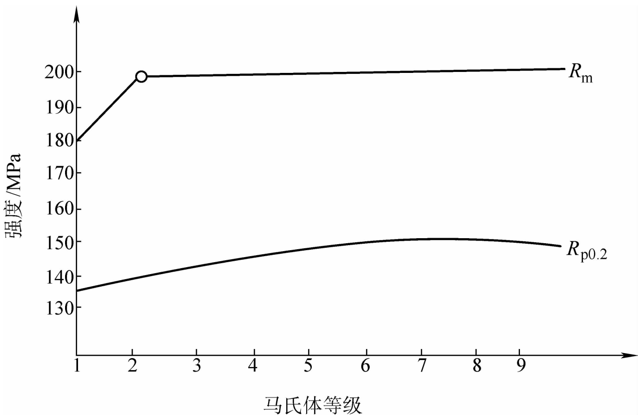


图4.21-1　40Cr钢抗拉强度试验结果

（1）抗拉强度　抗拉试样是采用直径为10mm的标准拉伸试棒，试验结果如图4.21-1所示。结果表明，马氏体的粗细对抗拉强度及规定塑性延伸强度影响都不大，仅在1级马氏体中因有少量块状及针状马氏体，抗拉强度较低，其余相差无几。

（2）冲击韧度。冲击韧度试样结果如图4.21-2所示。

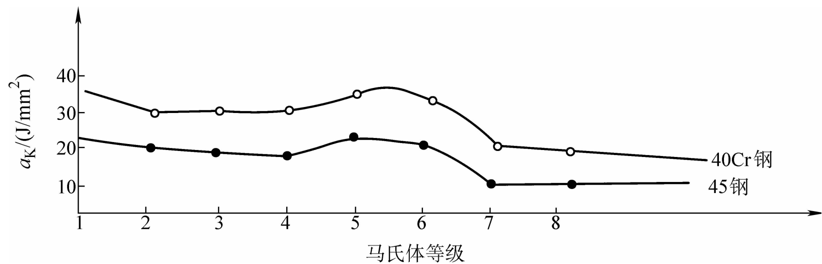


图4.21-2　冲击韧度试验结果

众所周知，钢铁材料的韧性与晶粒大小有关，即晶粒越细，裂纹穿过晶界扩展所消耗的功也就越多，韧性越高。然而中、低碳结构钢经淬火获得板条马氏体后，破断的最小单元就不一定是晶粒了。许多试验证明，裂纹在基体中扩展，不仅需要克服晶界的阻力，也要克服来自马氏体领域界的阻力，破断的最小单元是板条马氏体的领域。而在一个晶粒中，板条马氏体由于位向不同，将一个晶粒分成若干个更小的马氏体领域。因此，裂纹在一个晶粒中扩展需要通过条界和领域界，领域越小，破断的阻力越大。此外，马氏体的亚结构与韧性有关，位错型马氏体韧性优于孪晶型马氏体，增加位错马氏体的量，可提高材料的韧性。试验的结果证明，1 级马氏体晶粒较细，有少量针状和块状铁素体，对阻止裂纹扩展起了一定作用，冲击韧度较高。随着淬火温度升高，晶粒长大，马氏体粗化。2～4 级马氏体以细针马氏体为多数，冲击韧度不如 1 级马氏体。5、6 级马氏体以板条马氏体占多数，晶粒虽有长大，但冲击韧度却有所增加。当马氏体等级为 7、8 级时，由于晶粒明显粗化，冲击韧度下降。

（3）耐磨性。磨损是机械零件报废的主要原因，而耐磨性试验条件，对试样的磨损有较大的影响。本标准除保证了试验条件的统一外，并尽量模拟了使用条件。试验选用了两种试验机，一种为 TIMKER 纯油润滑试验机，磨损程度采取测量试块的磨痕宽度。另一种为 AMSLER 磨料试验机，则以测量试块的失重量。试验结果见图 4.21-3。

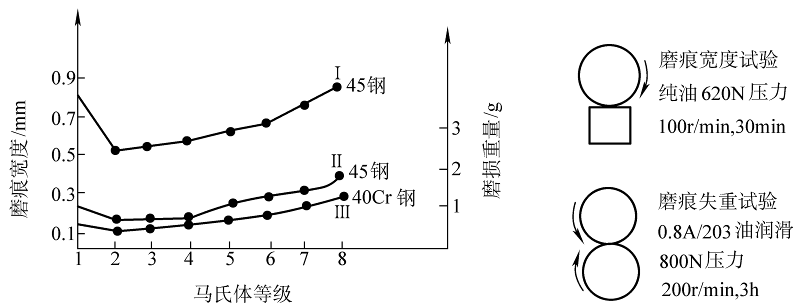


图 4.21-3　磨损试验结果

试验结果表明，1 级马氏体虽较细，但由于有少量铁素体，致使硬度较低。在耗油润滑时，耐磨性明显降低，而在磨料磨损时，耐磨性下降则不明显，2～4 级马氏体硬度高、耐磨性能优良，随着晶粒和马氏体的长大，耐磨性随之下降。

（4）淬火畸变倾向性。试样见图 4.21-4 及图 4.21-5。试验结果见表 4.21-1。

表 4.21-1　45 钢及 40Cr 钢淬火畸变的尺寸变化　（单位：0.01mm）

试验类型	材料	马氏体等级							
		1	2	3	4	5	6	7	8
环形试样 $\phi 8^{+0.02}_{0}$mm 处的尺寸变化	45 钢	+4.6	+5.3	+7.3	+9.2	+10.1	+12		+12
	40Cr 钢	+6.4	+6.2	+5.1	+4	+5.9	+6.4		+8.4
圆柱试样最大径向圆跳动	45 钢	7.8	12.8	13.7	22.7	31.7	38.3		46.3
	40Cr 钢	1.8	5.5	9.3	10.7	2.2	7.6		13.7

图 4.21-4 圆柱形试样最大径向圆跳动不超过 0.05mm。图 4.21-5 试样在淬火前测量圆环开口处 $8^{+0.02}_{0}$mm 的尺寸。淬火后分别测量以上两试样尺寸变化。

试验结果表明，45 钢和 40Cr 钢由于材料不同，淬火冷却介质不同，畸变量也不同。其中 45 钢畸变较 40Cr 钢明显，总趋势是马氏体尺寸长大，畸变量增加。

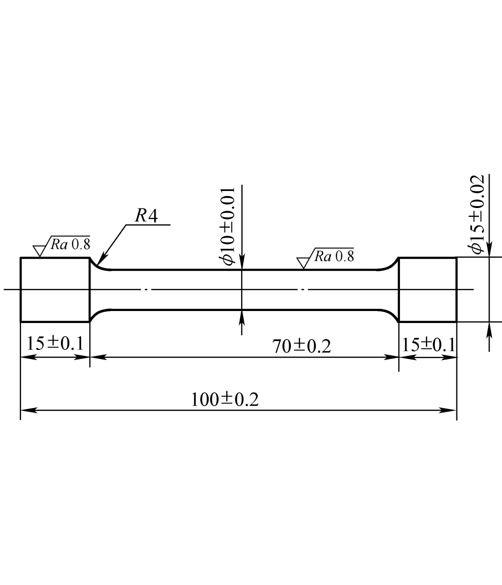


图 4. 21-4　淬火畸变试样

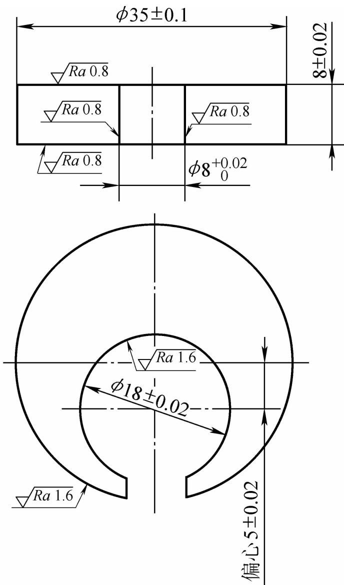


图 4. 21-5　淬火畸变试样

（5）淬火开裂倾向性。零件的淬火失效是各种综合因素造成的，为了试验的一致性，本试验选用了同炉材料，做对比试验。淬火开裂试样见图 4. 21-6、图 4. 21-7。试验结果见表 4. 21-2、表 4. 21-3。

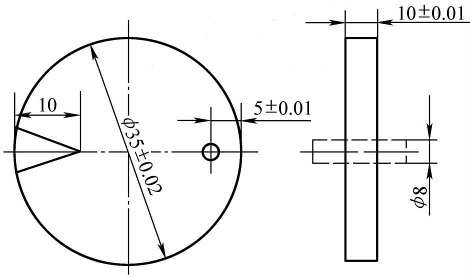


图 4. 21-6　淬火开裂试样 Ⅰ

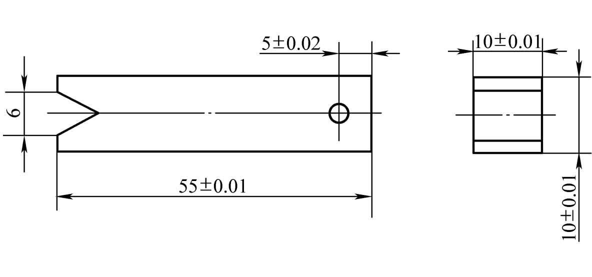


图 4. 21-7　淬火开裂试样 Ⅱ

表 4. 21-2　45 钢淬裂试验结果

马氏体等级	长形试样淬火次数					圆形试样淬火次数				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
3					3					
4				1	2					
5			1							
6										
7			2		3					3
8			4		1				3	7

表 4. 21-3　45 钢标准拉伸试样淬裂试验结果

马氏体等级	3	4	5	6	7	8
淬裂试样				3	4	4

表 4. 21-2 是将 45 钢两种不同试样用不同的温度加热，当加热温度超过 850℃时，均先在 850℃等温，以排除淬火温度的影响。其中图 4. 21-6 试样每组 6 个，图 4. 21-7 试样每组 10 个。一个试样最多淬火 5 次，每淬一次用磁粉探伤仪检查，剔除有裂纹的试样，剩余试样再次进行淬火。

表 4. 21-3 为 45 钢制成的拉伸标准试样，直径 10mm，加热方式与表 4. 21-2 相同，每淬火一次后检查裂纹。以上两个试验均证明，晶粒越大，马氏体越粗，淬裂的可能性增大。

2. 检验方法

（1）试样制备。为了避免检查试样与实际零件淬火条件的差别，试样必须在零件上或同炉处理的试块上截取。检查硬度和观察金相组织时，去除了脱碳层，均经磨光，抛光后检查其表面组织和硬度。对未淬透的零件，不得磨削过多，一般检查部位以不超过预留磨量为宜。

试样制备时，严格按照金相检验规定的方法制样，任何不正当的操作，都可能出现错误的结果。

（2）评定马氏体级别。由于用金相显微镜观察的晶粒度是非均匀的，当放大 500 倍后，观察的范围更加有限，因此，必须多观察几个视场，最少不得低于 5 个。

自 20 世纪 50 年代采用苏联 ГОСТ 8233—1956 标准以来，人们一直习惯用测量马氏体的长度来评级。20 世纪 60 年代初，应用透射电镜以后，明确了高碳马氏体和低碳马氏体特征。由此，同它们的性质相联系，进行了不少的工作。钢中马氏体的形态和性质之间的关系，到 20 世纪 70 年代才得到比较清晰的认识。高碳马氏体具有高的强度和低的韧性，低碳马氏体具有一定的强度和高的韧性。

本试验研究表明，中碳钢的马氏体形态具有板条马氏体和针状马氏体的混合。淬火温度越高，板条马氏体所占比例越大，其性质也介于高碳钢和低碳钢之间。此外，中碳合金结构钢 950℃左右淬火时，出现少量蝶状马氏体。蝶状马氏体没有显微裂纹，故具有高强度、高韧性。

板条马氏体在光学显微镜下，无法分辨一根马氏体及其长度，由于马氏体大小受晶粒大小的限制，马氏体既不穿过晶界也不穿过领域界。故本标准中的马氏体级别图片，也不予以说明马氏体尺寸大小。

用金相显微镜检查各种组织的等级，一般采用计算法、测量法和比较法。比较法是将所观察到的视场与标准图片比较，确定所观察到的组织等级。本标准用比较法评定马氏体等级，既科学又方便。

中碳钢和中碳合金结构钢由于含碳量不同，合金成分有差异，奥氏体化温度有差别，板条马氏体和针状马氏体的比例与 45 钢，40Cr 钢有一些差别，但形态完全相同，故标准中图片选用 40Cr 淬火马氏体做样板。经生产、科研验证，也适用于其他中碳钢及中碳合金结构钢。（北京机电研究所邵周俊供稿）

三、标准内容（JB/T 9211—2008）

中碳钢与中碳合金结构钢马氏体等级

1　范围

本标准规定了中碳钢与中碳合金结构钢马氏体显微组织的检验方法以及马氏体金相图片。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标

准。

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

3　检验方法

按 GB/T 13298 规定检验，并在金相显微镜下 ×500 观察五个以上视场与标准图片比较定级。

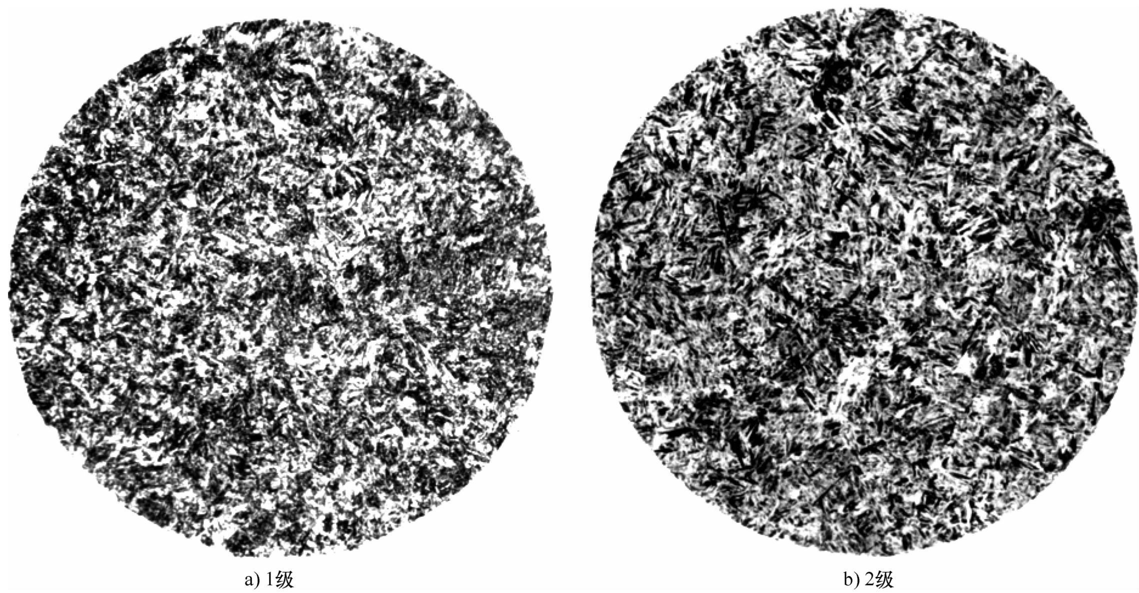
4　马氏体等级与显微组织

4.1　马氏体显微组织等级说明见表 1。

表 1　马氏体显微组织等级说明

马氏体等级	显微组织	图号
1	隐针马氏体，细针马氏体，铁素体的体积分数不大于 5%	图 1a
2	细针马氏体，板条马氏体	图 1b
3	细针马氏体，板条马氏体	图 1c
4	板条马氏体，细针马氏体	图 1d
5	板条马氏体，针状马氏体	图 1e
6	板条马氏体，针状马氏体	图 1f
7	板条马氏体，粗状马氏体	图 1g
8	板条马氏体，粗状马氏体	图 1h

4.2　马氏体显微组织等级图，见图 1。



a) 1级　　　　b) 2级

图 1　马氏体显微组织等级图（×500）

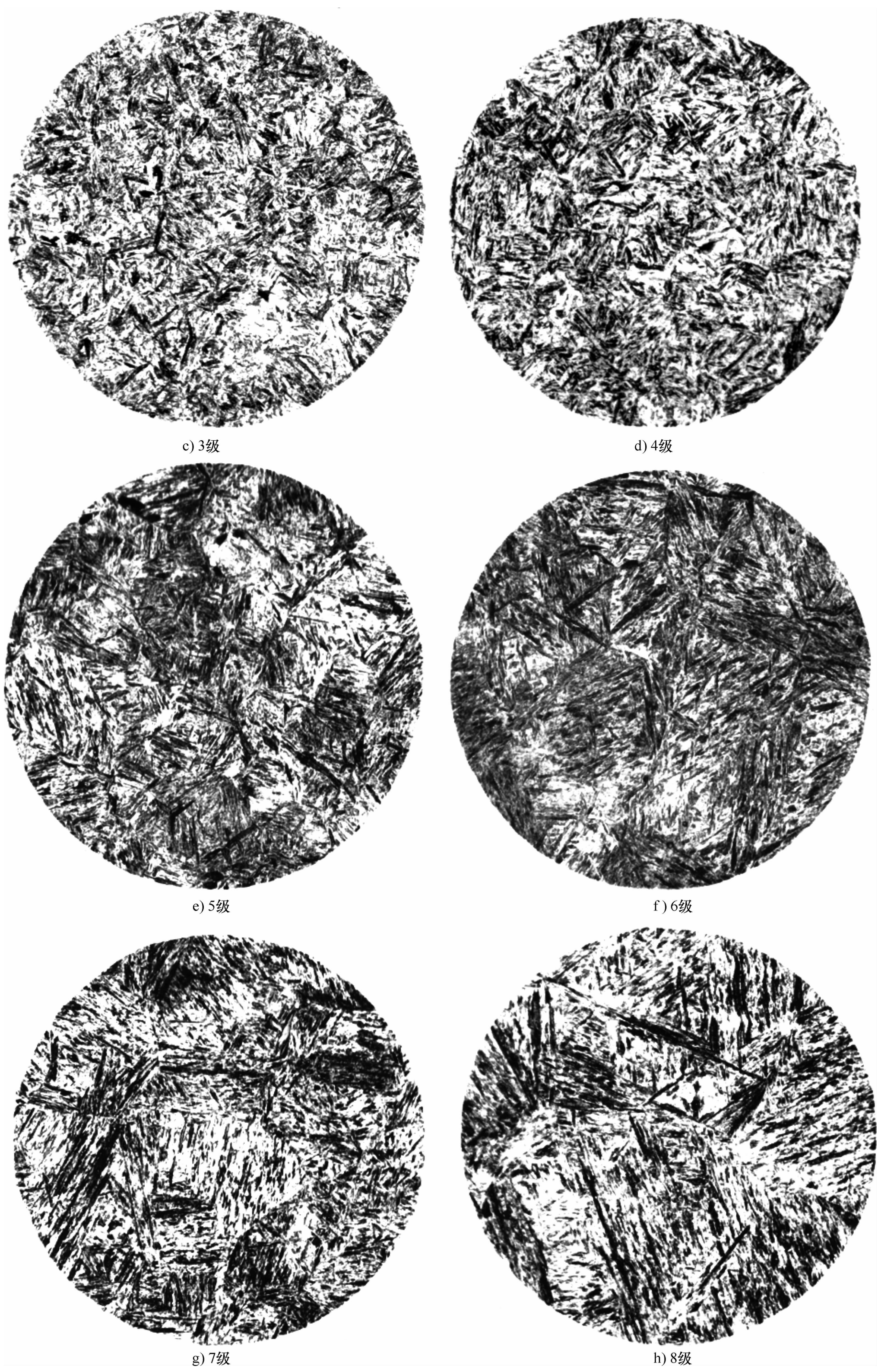


图1　马氏体显微组织等级图（×500）（续）

附 录 A

（资料性附录）

各级马氏体的适用范围

A. 1 1 级马氏体由于淬火温度低、淬裂畸变倾向性小、晶粒小且有少量点状及小块状铁素体，冲击韧度较大，但抗拉强度、耐磨性显著下降。适用于要求硬度、耐磨性、强度不太高的易淬裂及易畸变的复杂薄壁件。

A. 2 2 ~ 4 级马氏体硬度较高并有良好的耐磨性、抗拉强度，是机械零件常用的等级。

A. 3 5 ~ 6 级马氏体为高温马氏体，具有较高的冲击韧性、屈服强度和抗拉强度。硬度及耐磨性与 2 ~ 4 级比较，并未见显著降低。适用于较大且要求硬化层较深的零件。

A. 4 7 ~ 8 级马氏体为过热组织，随着马氏体的长大，淬裂的可能性增加，耐磨性、冲击韧性下降。非特殊要求，不应采用。

第二十二节 低、中碳钢球化体评级

一、概论

冷镦和自动车削是大量流水生产汽车、拖拉机和其他机器上紧固件和标准件的主要方法。由于冷镦工艺生产率高，材料利用率高，所以近年来有逐步扩大采用的趋势。冷镦和自动车削加工方法不同，对钢材的工艺性能要求也不同。自动车削加工要求钢材具有良好的切削性能，为此，有时还采用易切削钢，而冷镦加工则要求钢材具有较高的塑性（即冷镦性能），以保证冷镦时不开裂。钢材的化学成分及金相组织对钢材的切削性能及冷镦性能都有影响。如果钢材的成分固定，则其金相组织是影响切削性能及冷镦性能的主要因素，而且它对这两种性能的影响还是互相矛盾的。冷镦性能要求钢材具有良好的塑性，希望钢材具有球化组织，它的塑性最好，有利于冷镦；而切削性能要求钢材塑性不要太高，塑性太高，切削时容易黏刀，切屑不易断，对切削性能不利。因此，自动车削加工的标准件，希望钢材金相组织为片状珠光体。

为了保证钢材的冷镦性能和切削性能，必须控制其金相组织。为此拟定了 15 钢、15MnVB钢、35 钢和 40Cr 钢的球化组织金相标准。低、中碳钢球化体评级标准是按碳化物球化程度分级的，1 级球化率为 0%，即为完全片状珠光体。6 级球化率为 100%，即为完全球化。这套标准可以两用，既可以用来评定冷镦钢，又可以用来评定自动车削用钢。

这里还必须指出，钢材的表面质量对冷镦开裂比金相组织有更大的影响。钢材表面有裂纹或发裂时，冷镦零件时就会在表面产生裂纹。这时裂纹是沿轴向分布，而钢材金相组织不良，塑性不够，冷镦时产生的裂纹是与轴线成 45°角。因此，根据裂纹的特征就可以判断开裂的原因。本标准制定于 1991 年。为了满足热处理行业的技术发展，结合当前生产情况于 2007 年重新修订了本标准。

二、标准应用说明

1. 低碳钢（15）和低碳合金钢（15MnVB，15MnB）的碳化物球化组织的评级标准及判定级别的确定

（1）球化组织的评级标准。按碳化物的球化率共有六级评级图片。用图像分析仪测定的球化率数据列于表 4. 22-1。

表 4.22-1　低碳钢与低碳合金钢的球化率数据

级别	标准中金相组织特征	图像分析仪测定球化率（%）	标准文本图片
1	珠光体 + 铁素体	0	图 1a
2	珠光体 + 少量球化体 + 铁素体	28	图 1b
3	球化体及珠光体 + 铁素体	57	图 1c
4	球化体及少量珠光体 + 铁素体	64	图 1d
5	点状球化体及少量珠光体 + 铁素体	75	图 1e
6	球化体 + 铁素体	100	图 1f

15 钢和 15MnVB 钢六个级金相组织的力学性能分别如图 4.22-1 和图 4.22-2 所示。

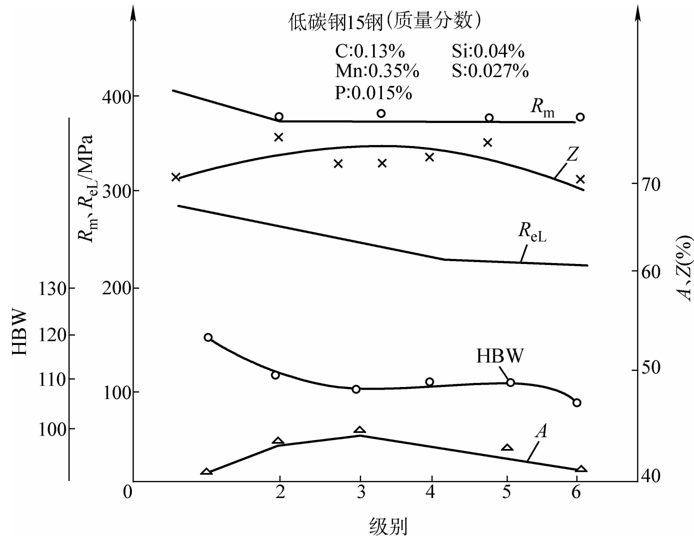


图 4.22-1　15 钢六个级别金相组织的力学性能

（2）判定级别的确定。15 钢和 15MnVB 钢，金相组织为完全片状珠光体时仍有良好的塑性，1 级图片（100% 片状珠光体）时，它们的断面收缩率分别为 71% 和 69%，伸长率分别为 41% 和 27%。这样高的塑性指标保证了钢材具有良好的冷镦性能。

冷顶锻试验也证明，1 级图片（即 100% 片状珠光体）的钢材，冷顶锻试验压下量到 1/3 时（畸变量相当于 66.7%），甚至于压下量到 1/4 时（畸变量相当于 72.2%）样品均无一开裂，这说明金相组织为 100% 片状珠光体时也能满足冷镦要求。因此，在本标准中对低碳钢的球化率级别不做规定，由各生产企业根据具体情况掌握。

因为对低碳钢的球化率级别不做规定，所以可以不进行球状化退火。这样可以降低生产成本。以武汉汽车标准件厂为例，取消退火工艺，按每年消耗钢材 2000t 计，可节约热处理费用 20 万元。

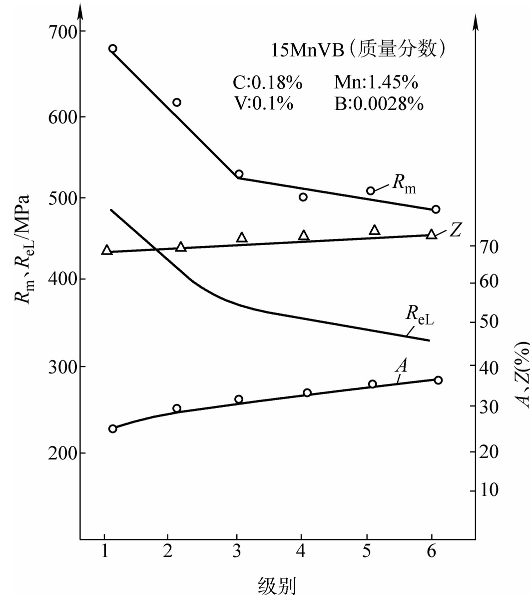


图 4.22-2　15MnVB 钢六个级别金相组织的力学性能

2. 中碳钢（35）和中碳合金钢（40Cr）的碳化物球化组织的评级标准及判定级别的确定

（1）球化组织的评级标准。中碳钢（35）的碳化物球化组织的评级图片分为六级。用图像分析仪测定的球化率数据列于表4.22-2。各级组织的力学性能如图4.22-3所示。

表4.22-2　中碳钢（35）的球化率数据

级别	标准中金相组织的文字说明	图像分析仪测定球化率（%）	标准文本图片
1	珠光体+铁素体	0	图2a
2	珠光体及少量球化体+铁素体	14	图2b
3	珠光体及球化体+铁素体	44	图2c
4	点状球化体及少量珠光体+铁素体	73	图2d
5	点状球化体及少量球化体+铁素体	92	图2e
6	均匀分布的球化体+铁素体	100	图2f

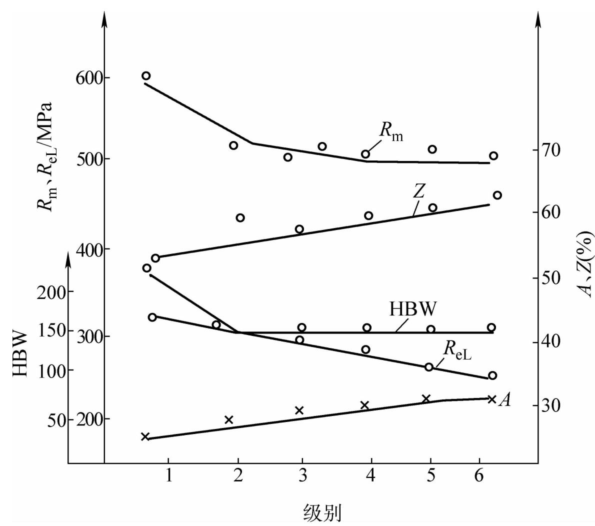


图4.22-3　35钢六个级别金相组织的力学性能

中碳合金钢的碳化物球化组织的评级图片分为六级。用图像分析仪测定的球化率数据列于表4.22-3。各级组织的力学性能如图4.22-4所示。

表4.22-3　中碳合金钢（40Cr）的球化率数据

级别	标准中金相组织的文字说明	图像分析仪测定的球化率（%）	标准文本图片
1	珠光体+铁素体	6	图3a
2	珠光体及少量球化体+铁素体	20	图3b
3	珠光体及球化体+铁素体	47	图3c
4	点状球化体及少量珠光体+铁素体	63	图3d
5	点状球化体及球化体+铁素体	82	图3e
6	均匀分布球化体+铁素体	100	图3f

（2）判定级别的确定。对于中碳钢，片状珠光体与球化体的力学性能有很大差别，片状珠光体强度高而塑性低，40Cr 钢片状珠光体与球化体的极限强度分别为 990MPa 与 600MPa，相差 390MPa，而断面收缩率分别为 54% 和 68%，相差 14 个百分点。金相组织中随着碳化物球化程度的增加，强度降低，塑性提高，因而冷镦性能得到改善，通过冷顶锻试验也证实了这一点。表 4.22-4 列出不同级别的金相组织冷顶锻的试验结果。

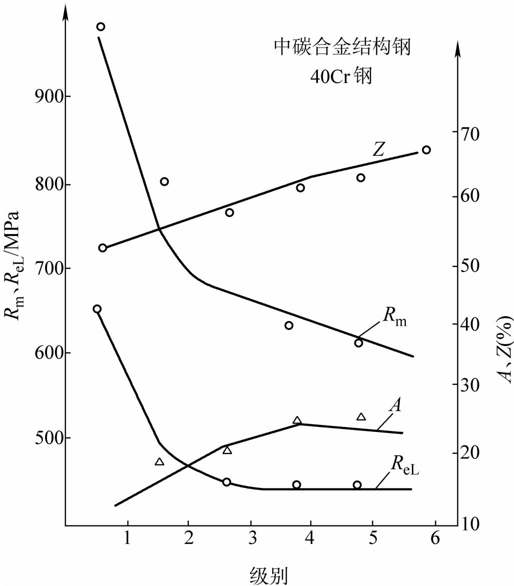


图 4.22-4 40Cr 钢六个级别金相组织的力学性能

日本丰田汽车公司也提出四级碳化物球化标准，1 级为完全球化的组织，2 级为部分球化体及部分片状珠光体，3 级为多量片状珠光体加少量球化体，4 级为完全片状珠光体。用 SCr4（40Cr）钢生产冷镦畸变量为 77% 的垫板螺栓，金相组织为 1 级的（完全球化体）全部不开裂，金相组织为 2 级的有 30% 开裂，金相组织为 3 级的全部开裂。

我们的冷镦零件中，绝大多数畸变量为 60% 左右。根据多年的生产实践经验，参照冷顶锻试验结果及日本丰田汽车公司的经验，我们确定，用于冷镦的中碳钢及中碳合金钢碳化物球化组织控制在 3～6 级为合格。

表 4.22-4 不同级别金相组织对冷顶锻试验结果的影响

畸变量 \ 金相组织级别	1	2	3	4	5	6
冷顶锻压下量到 $\frac{1}{3}H$（畸变量为 66.7%）	3 件样中有 1 件开裂	良好	良好	良好	良好	良好
冷顶锻压下量到 $\frac{1}{4}H$（畸变量为 72.2%）	3 件样品中有 2 件开裂	3 件样品中有 2 件开裂	3 件样品中有 1 件开裂	良好	良好	良好

金相组织中片状珠光体过多除了影响冷镦开裂外，也影响模具的使用寿命。

如果碳化物球化组织控制在 3～6 级，目前汽车行业采用球化热处理工艺处理后的工件，绝大部分都能达到要求（见图 4.22-5）。

3. 关于自动车削用钢金相组织的评级

用于自动车削的钢材，希望塑性不要太高，否则会使切削时不易断屑，而且零件表面粗糙。因此，希望钢材金相组织为片状珠光体。

在生产中由于金相组织为球化体而影响切削加工的事例屡有发生，现举两例加以说明。

（1）一汽用 20CrMnTi 钢在自动车床上加工球头销时，当金相组织为聚集状球化体（5 级）、硬度为 187HBW 时，加工出来的零件表面粗糙度达不到要求，而且刀具磨损严重。经过正火处理，金相组织为片状珠光体加少量球化体（2 级），硬度为 197HBW 时，切削性能得到改善，加工出来的零件表面光洁良好，刀具磨损正常。

（2）用 35 钢加工螺母内螺纹时，当金相组织为球化体（相当于 6 级）时，加工螺纹乱扣，表面粗糙度不合格。经正火处理后，金相组织为片状珠光体（1～2 级），加工出来的螺纹光洁、

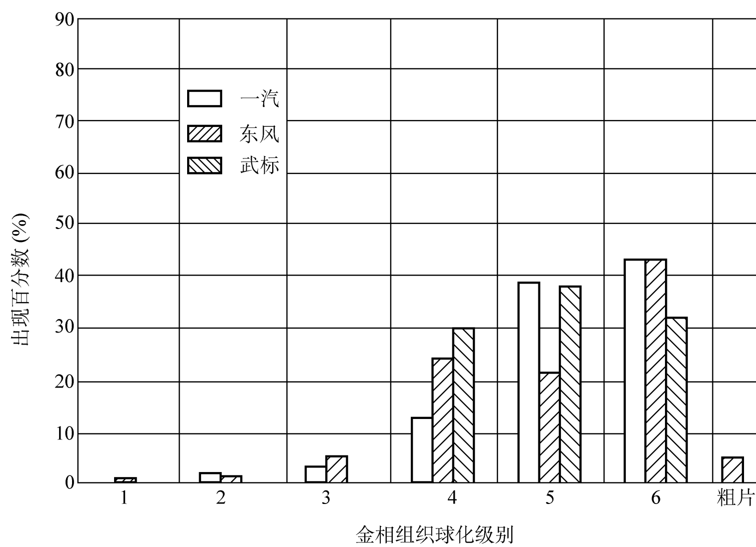


图 4.22-5 一汽、东风、武标三个厂球化退火处理后各级金相组织出现的百分数

整齐。

上述两个例子说明金相组织对切削加工性能的影响。根据实践经验确定，用于自动车加工的钢材，按拟定的金相标准评级中，合格的级别为 1～3 级，即金相组织中以片状珠光体为主体。（中国第一汽车集团公司景立媛供稿）

三、标准内容（JB/T 5074—2007）

低、中碳钢球化体评级

1 范围

本标准规定了低碳结构钢、低碳合金结构钢、中碳结构钢、中碳合金结构钢及易切削结构钢的球化体等级评定和技术要求。

本标准适用于冷镦、冷挤压、冷弯及自动机床切削加工用钢的组织评级。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7232 金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994；JIS B 6905：1995）

3 术语和定义

GB/T 7232 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 点状球化体 fine spheroidite

珠光体中碳化物球化颗粒细小，显微镜观察（400～500 倍）呈点状，高倍观察为球状。

4 技术要求

4.1 冷镦、冷挤压及冷弯加工的组织评级

4.1.1　低碳结构钢可不检查珠光体组织；低碳合金结构钢需经供需双方协议规定评级。

4.1.2　中碳结构钢和中碳合金结构钢，畸变量≤80%，组织4～6级合格。畸变量>80%，组织5～6级合格。

4.2　自动机床用钢的组织评级

4.2.1　易切削结构钢，组织1～4级合格。

4.2.2　低碳结构钢、低碳合金结构钢、中碳结构钢、中碳合金结构钢，1～3级合格。

5　试样

5.1　试样应在热处理炉中有代表性的部位选取，一般按炉的有效加热区大小取3～5个。

5.2　金相试验样在截取、制备过程中，不得有因受热而导致组织改变的现象。

5.3　金相试验样磨制抛光后，用2%～5%硝酸酒精腐蚀，选取有代表性的三个以上的视场进行评定。

6　球化体评级

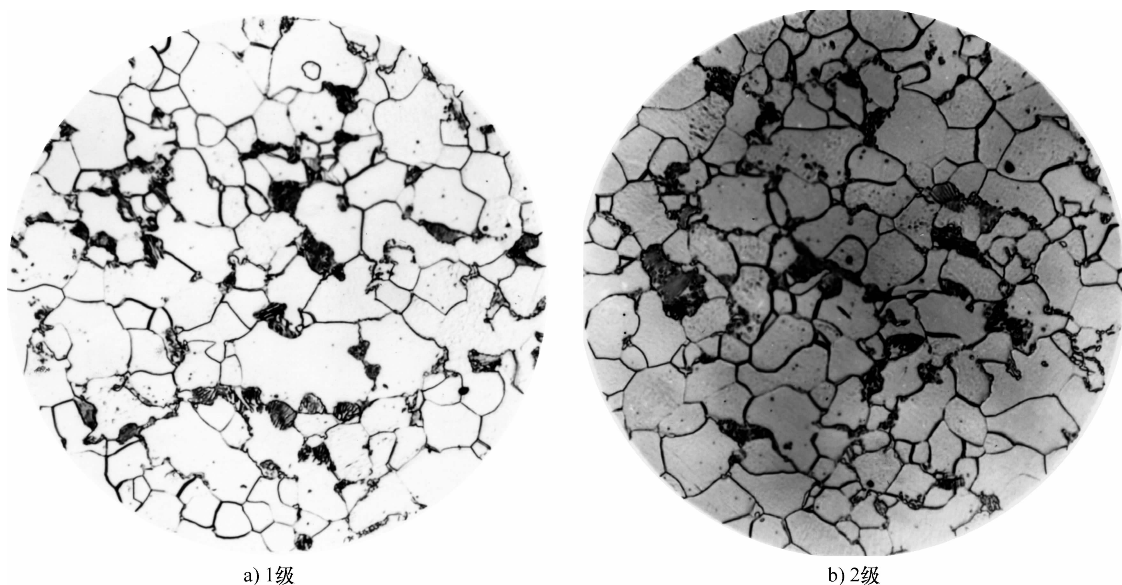
6.1　球化体等级的评定，应根据其组织的形态、数量、大小、及分布情况综合评定。放大倍数一般选用400倍。

6.2　分级说明分别见表1及图1、表2及图2、表3及图3。

6.3　易切削结构钢球化体分级根据其主要化学成分按6.2评定。

表1　低碳结构钢及低碳合金结构钢球化体分级

级别	组织特征	图号
1	珠光体+铁素体	图1a
2	珠光体及少量球化体+铁素体	图1b
3	球化体及珠光体+铁素体	图1c
4	球化体及少量珠光体+铁素体	图1d
5	点状球化体及少量珠光体+铁素体	图1e
6	球化体+铁素体	图1f



a) 1级　　b) 2级

图1　低碳结构钢及低碳合金结构钢球化体分级图（×400）

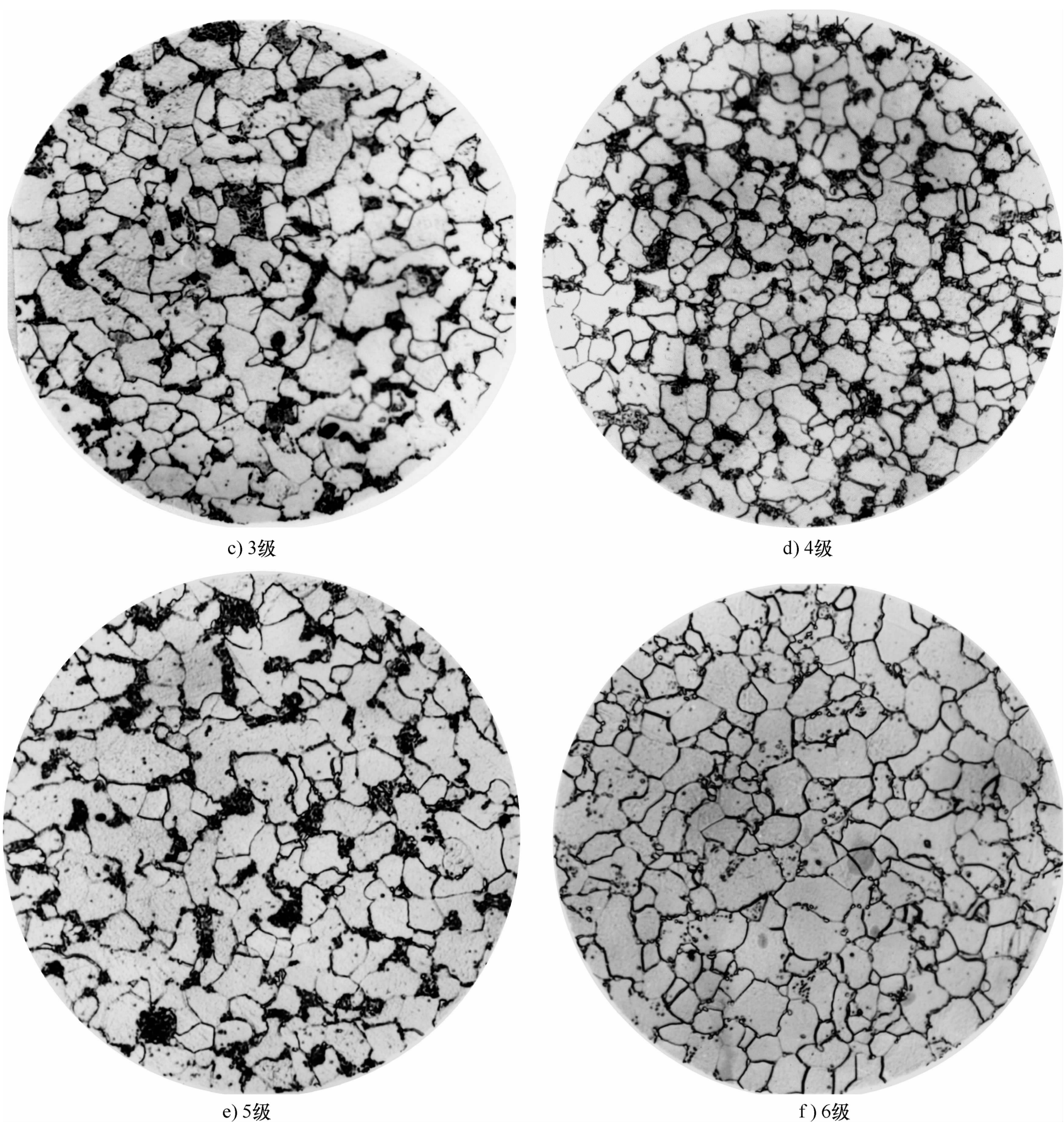

c) 3级　d) 4级　e) 5级　f) 6级

图1　低碳结构钢及低碳合金结构钢球化体分级图（×400）（续）

表2　中碳结构钢球化体分级

级别	组织特征	图号
1	珠光体+铁素体	图2a
2	珠光体及少量球化体+铁素体	图2b
3	珠化体及珠光体+铁素体	图2c
4	点状球化体及少量珠光体+铁素体	图2d
5	点状球化体及少量球化体+铁素体	图2e
6	均匀分布球化体+铁素体	图2f

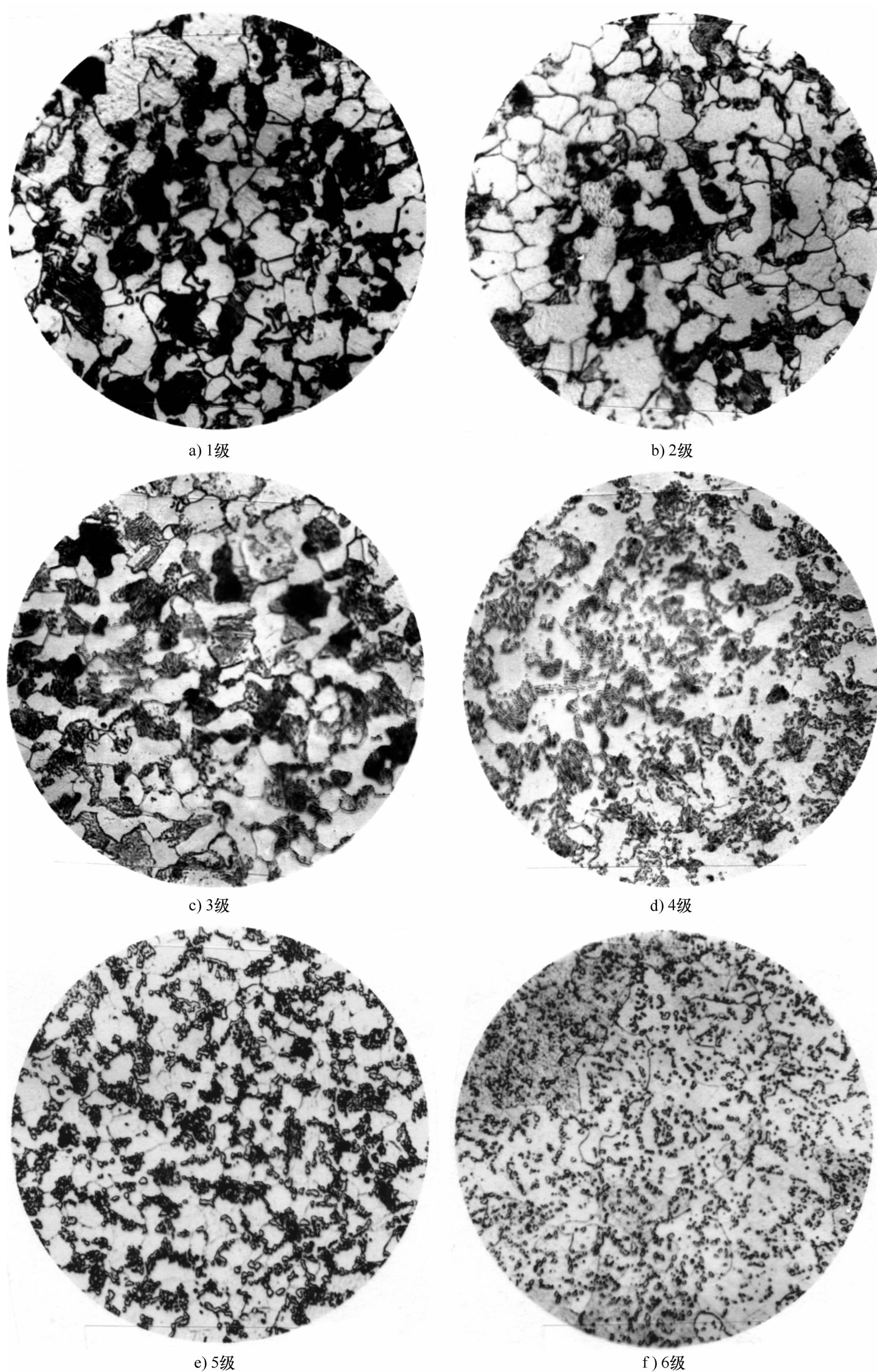
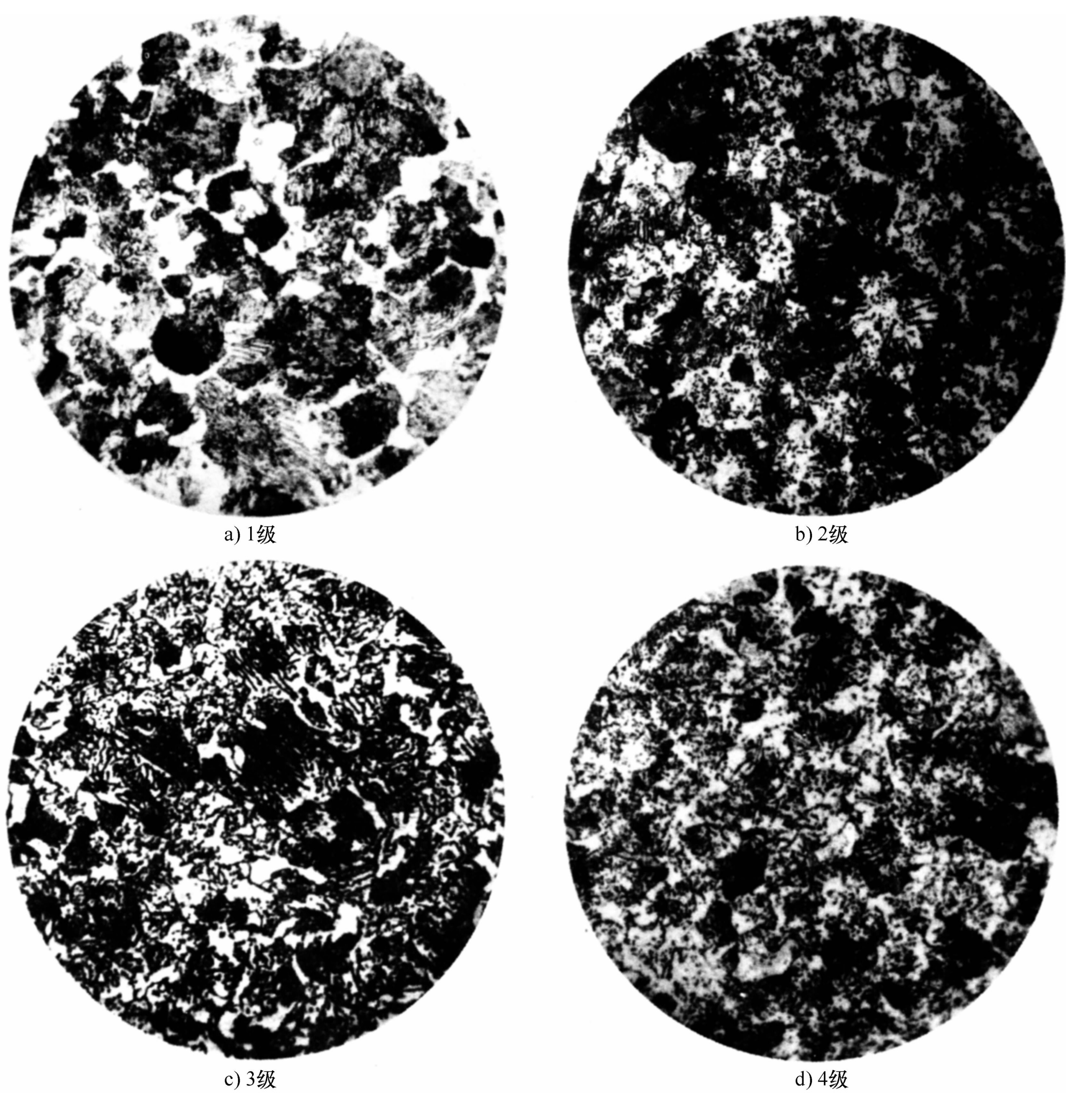


图 2　中碳结构钢球化体分级图（×400）

表 3　中碳合金结构钢球化体分级

级别	组织特征	图号
1	珠光体 + 铁素体	图 3a
2	珠光体及少量球化体 + 铁素体	图 3b
3	球化体及珠光体 + 铁素体	图 3c
4	点状球化体及少量珠光体 + 铁素体	图 3d
5	球化体及点状球化体 + 铁素体	图 3e
6	均匀分布球化体 + 铁素体	图 3f



a) 1级　b) 2级　c) 3级　d) 4级

图 3　中碳合金结构钢球化体分级图（×400）

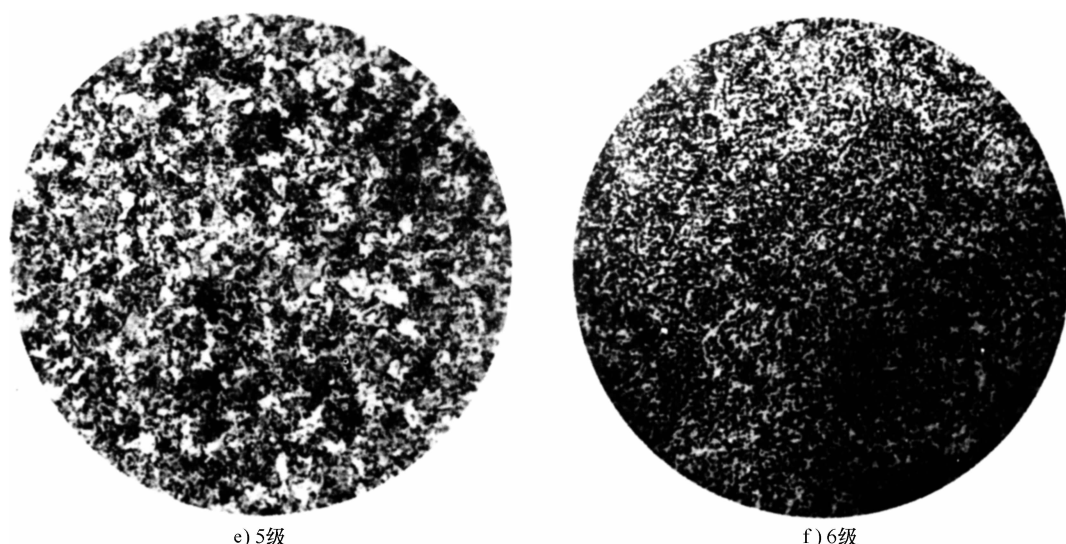


图 3　中碳合金结构钢球化体分级图（×400）（续）

第二十三节　高碳高合金钢制冷作模具显微组织检验

一、概论

冷作模具是我国模具工业中用量最大，性能要求特别苛刻的一类模具。随着塑性成形加工速度和产品质量的不断提高，以及模具单位面积的负荷迅速增加，使冷作模具的工作条件变得非常复杂，从而对材料的各项性能，包括使用性能和热处理工艺提出了一系列严格而又苛刻的要求。

众所周知，材料的性能好坏和使用寿命长短，在正常工况下，直接取决于热处理工艺与其相组织的合理与否。金相分析是判定热处理质量的重要依据。在本标准制定之前，在国内还没有收集到有关冷作模具方面的金相组织检验标准，国外方面也没有收集到类似的国际标准和其他先进工业国家的有关标准。因此，制定一套可靠的典型冷作模具金相组织检验标准，来控制模具的质量，是很必要的。本标准于 1995 年制定，于 2007 年进行了修订。

二、标准应用说明

1. 关于级别图

本标准共分二组显微组织级别图：Cr12 型钢碳化物级别和 Cr12 型钢马氏体级别。W6Mo5Cr4V2 高速钢晶粒度级别引用 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定方法》。由于 Cr12 和 Cr12MoV 钢的显微组织形貌和相组成基本相似，所以本标准对这两种在化学成分上稍有差异的钢件，采用同一套显微组织级别图检验。

2. 碳化物评定

Cr12 和 Cr12MoV 钢均属高碳高合金钢，铸态下共晶碳化物呈网状分布，需经反复镦拔加以改善。Cr12 钢基体上的碳化物总数约占 15% ~17%，Cr12MoV 钢由于碳含量较低，所以基体上碳化物数量相对比 Cr12 钢少。本级别图是在碳含量比较高的 Cr12 钢试样上摄取的。根据碳化物颗粒大小，数量多少分为 5 级，见标准中图 1a ~ e。取检测面上碳化物最严重处，用金相比较法评定。当

有争议时，也可测量最大碳化物的尺寸，各级别的最大尺寸见标准中表3。

W6Mo5Cr4V2 钢的碳化物检验，已经有国家标准（GB/T 4462）可依，故本标准只要参照 GB/T 4462 第二级别图评定即可。需要注意的是，GB/T 9943—2008《高速工具钢》替代了 GB/T 4462—1984《高速工具钢大块碳化物评级图》GB/T 9942—1988《高速工具钢大截面锻制钢棒技术条件》和 GB/T 9943—1988《高速工具钢棒技术条件》，GB/T 4462—1984 的技术内容作为 GB/T 9943—2008 的附录 A。因此，高速工具钢大块碳化物可按 GB/T 9943—2008 的附录 A 进行评级。

3. 马氏体评定

马氏体级别图也是在 Cr12 钢经不同淬火 + 回火处理后的试样上摄取的。按其形貌特征和马氏体针最大长度分为 5 级，见标准中图 2a ~ e 和表 4。评定时，在试样检测面上取其最劣视场（不少于 3 个），用金相比较法对照评定。

4. 晶粒度评定

淬火温度对 W6Mo5Cr4V2 钢的性能影响很大，根据试验得出，(1190 ~ 1210)℃ ±6℃ 为该钢从韧性向脆性转变的区间。从显微组织看，在这温度区间，晶粒度长大比较明显，马氏体针由于高温回火后不容易分辨，因此，本标准采用晶粒度作为评级依据，不专门制定马氏体级别。

W6Mo5Cr4V2 钢淬火后一般为等轴晶，可直接参照 GB/T 6394—2002 中系列图片 1 比较评定。若晶粒度超过标准评级系列图片所包括范围或基准放大倍数（$M_b = 100$）不能满足需要时，可采用其他放大倍数 M。将使用放大倍数 M 的晶粒图像与基准放大倍数 M_b 的标准评级图片进行比较，评出晶粒度级别指数 G，其显微晶粒度级别指数 G 可以下式计算：

$$G = G' + Q$$

$$Q = 6.6439 \lg \frac{M}{M_b}$$

其他放大倍数下，评定的晶粒度级别与相应的显微晶粒度级别也可对照 GB/T 6394—2002。

5. 级别评价

Cr12 型钢碳化物和马氏体级别图片均是从性能试验试样上摄取的。按其综合性能评价，第 3 级为最佳，1 级、2 级次之，4 级、5 级较差，其合格级别范围可根据产品技术条件确定。

W6Mo5Cr4V2 钢制模具通常晶粒度应小于等于 9 号为宜。

6. 侵蚀剂

显示显微组织建议选用三氯化铁（5g）+盐酸（15mL）+乙醇溶液。显示晶粒度选用 4% 硝酸乙醇溶液效果比较好。若需二者兼得，可将两种试剂叠加侵蚀。

7. 热处理工艺对钢的组织和性能的影响

（1）热处理温度对 Cr12 型钢组织与性能的影响。Cr12 型钢淬火后的正常组织应为马氏体 + 残留奥氏体 + 过剩碳化物（约占 12%）。过剩碳化物量是随着淬火温度的提高而逐渐溶解于基体奥氏体中的。如果淬火温度偏低，溶解到奥氏体中的碳少，合金量也少，淬火后马氏体贫碳，从而削弱了材料的耐回火性。若淬火温度偏高，溶解到奥氏体中的碳元素增加，淬火后除马氏体碳含量增加外，残留奥氏体含量也随之增加。所以过剩碳化物的数量、形状大小和分布情况均直接影响钢的脆性和耐磨性。严重的带状碳化物偏析或大块状（多角形）碳化物密集，都将使模具造成局部过热和大的变形，而且在淬火时或使用中容易引起开裂和崩裂。

从试验结果看，Cr12 型（包括 Cr12MoV）钢的晶粒度在一定的淬火加热条件下随淬火温度升高，长大倾向不特别明显。因此，基体显微组织级别以马氏体针长度和残留奥氏体含量来区分比较合适。但是用金相去来评定残留奥氏体含量，一般误差比较大，因此本级别图主要按马氏体针长度分级。模具热处理后的残留奥氏体含量最多不要超过 25%（用 X 射线衍射法测定），以免冷镦时粘

料。Cr12MoV 钢冷镦模的最佳淬火温度为（1050～1060）℃ ±6℃冷处理后的最佳回火温度为（400±10）℃。回火温度偏低（＜200℃）时，组织中的残留奥氏体比较稳定，硬度也变化不大，模具容易断裂；回火温度偏高（＞500℃）时，马氏体开始分解，硬度降低，模具在使用过程中容易塌陷。淬火后冷处理可促进残留奥氏体转变（转变量约在30%以上），可这时的硬度均可保持在60HRC左右。这是由于马氏体量增多，而且合金化程度高，使其耐回火性增强，残留奥氏体转变为马氏体部分地抵消了马氏体分解时造成的硬度下降。残留奥氏体和硬度可作为参考性能指标，硬度的最佳范围在56～60HRC，这可根据被加工件的硬度来选择。

（2）淬火温度对 W6Mo5Cr4V2 钢性能的影响。根据试验得出，（1190～1210）℃ ±6℃为该钢的韧性和脆性的转变区间。从显微组织看，在这温度区间晶粒度长大特别明显，马氏体针也略有长大，但是到（1210±6）℃后变化不大明显，因此，本标准采用晶粒度作为评级依据。一般淬火温度超过1200℃，晶粒度在6～5级以上。这时钢的强度和韧性都特别差，但是耐磨性较好。如果是某些需要高的耐磨性能而强韧性可以次之的模具，则可根据协议放宽要求。该钢的强度、韧性和耐磨性能合理配合的较佳工艺为（1190～1200）℃ ±6℃淬火，（560±10）℃ ×1h 回火 2～3 次。

（3）推荐的最佳工艺和级别 Cr12 和 Cr12MoV 钢传统的热处理工艺为 Cr12 钢（950～980）℃ ±6℃淬火＋（180～200）℃ ±10℃回火，Cr12MoV 钢（980～1020）℃ ±6℃淬火＋（180～200）℃ ±10℃回火。热处理后的硬度在60～62HRC，但这类模具在使用条件下常常因脆性开裂而导致早期失效。新的强韧化工艺将淬火温度提高到（1050～1060）℃ ±6℃，使基体充分合金化，然后采用液氮［（－194±2）℃］冷处理3h后，再（400±10）℃回火，使残留奥氏体尽可能地转变为马氏体，从而提高钢的硬度、强度和耐磨性，满足了冷作模具对强韧性的要求，使模具使用寿命有大幅度提高。本标准中图2c（3级）级别图就是从该工艺处理的性能试验试样上直接摄取的。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 7713—2007）

高碳高合金钢制冷作模具显微组织检验

1　范围

本标准规定了高碳高合金钢制冷作模具经淬火回火后碳化物、马氏体和晶粒度的评定方法及级别。

本标准适用于 Cr12 型和 W6Mo5Cr4V2 等钢制冷作模具的显微组织检验。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 1299　合金工具钢（GB/T 1299—2000，neqASTM A681：1994）

GB/T 4462—1984　高速工具钢大块碳化物评级图

GB/T 6394—2002　金属平均晶粒度测定方法（ASTME112：1996，MOD）

GB/T 9943　高速工具钢棒技术条件（GB/T 9943—1988，neq ASTM A600：1979）

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

3　技术要求

3.1　Cr12 型钢原材料品质要求应符合 GB/T 1299 的有关规定，其共晶碳化物不均匀度的合格级别

（见表1）。

表 1

钢材截面尺寸/mm	共晶碳化物不均匀度的合格级别（不大于）	
	Ⅰ组	Ⅱ组
≤50	3	4
>50～70	4	5
>70～120	5	6
>120	6	双方协议

注：按 GB/T 1299 第三级别图评定。

3.2 W6Mo5Cr4V2 钢原材料品质要求应符合 GB/T 9943 的有关规定，其共晶碳化物不均匀度的合格级别（见表2）。

表 2

直径或边长/mm	≤40	>40～60	>60～80	>80～100	>100～120
共晶碳化物不均匀度的合格级别（不大于）	3	4	5	6	7

注：按 GB/T 9943 第二级别图评定。

4 试样要求

4.1 试样应从模具上有代表性的部位切取，也可用与模具同一熔炼炉号，有效尺寸相同，锻制条件和热处理规范相同的圆柱形或长方形试样。

4.2 试样在磨制和抛光过程中，其检测表面不允许有过热而导致组织变化。金相试样的制备应符合 GB/T 13298 的规定。

5 显微组织级别特征及评级图

5.1 侵蚀剂

Cr12 型钢试样推荐用三氯化铁（5g）＋盐酸（15mL）＋乙醇（100mL）溶液侵蚀。

5.2 放大倍率

显微组织级别在放大 500 倍的显微镜下检验。

5.3 Cr12 型钢大块碳化物级别评定方法

5.3.1 Cr12 型钢大块碳化物级别按颗粒大小，数量多少分为五级，见图 1。各级别的最大尺寸见表 3。

表 3

级别	1	2	3	4	5
大块碳化物最大尺寸/mm	0.009	0.013	0.017	0.021	0.025

5.3.2 大块碳化物均以金相比较法评定，取检测面上碳化物最严重处与图 1 对照评定。

5.3.3 没有争议时，可测定最大碳化物尺寸。测量值按下式计算：

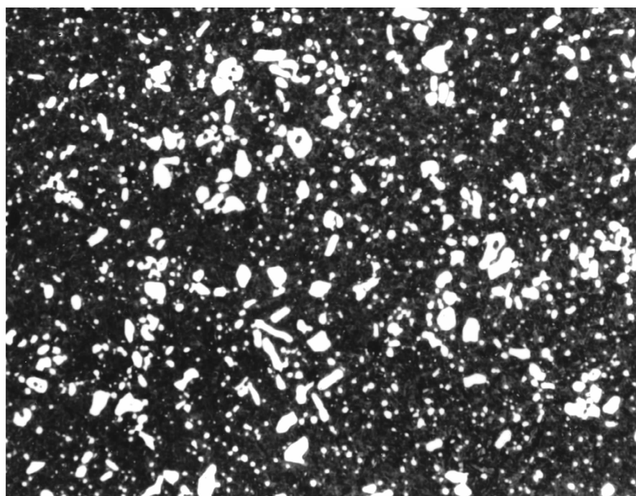
$$\text{最大碳化物尺寸} = \frac{a+b}{2}$$

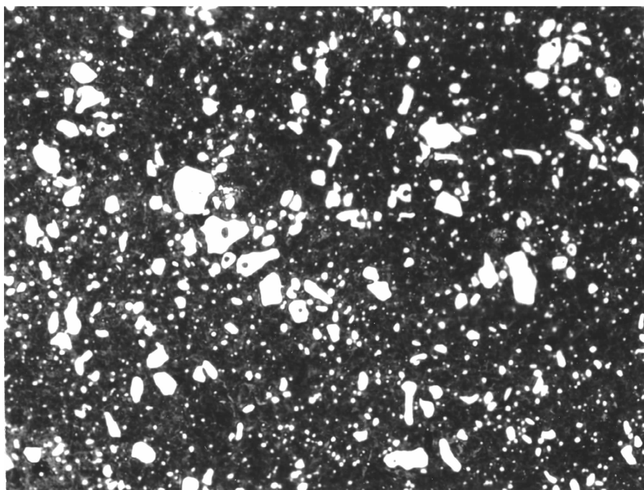
式中 a——碳化物最大长度（mm）；

b——垂直于最大长度方向的碳化物最大尺寸（mm）。

5.3.4 通常该类模具的碳化物级别不得大于 3 级。

5.4 Cr12 型钢马氏体级别评定方法


a) 1级


b) 2级

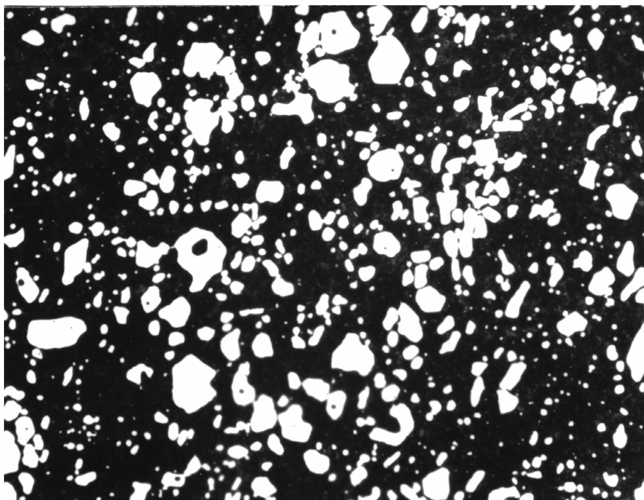
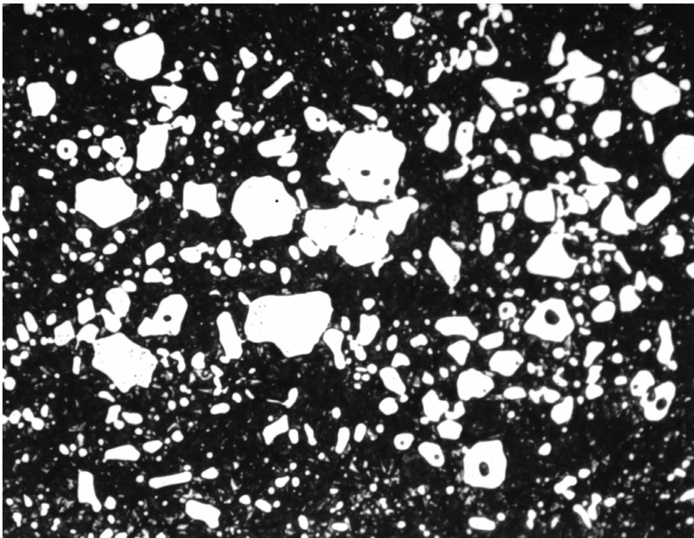
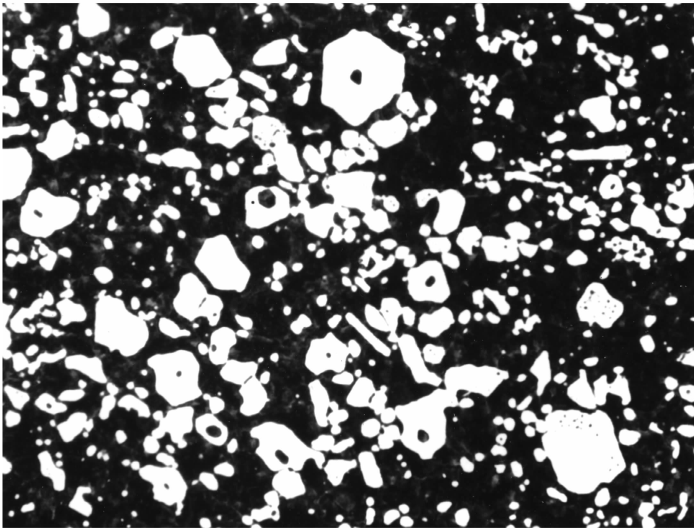

c) 3级

图 1　Cr12 型钢大块碳化物级别图（×500）



d) 4级



e) 5级

图 1 Cr12 型钢大块碳化物级别图（×500）（续）

5.4.1 Cr12 型钢马氏体级别按其形貌特征分五级，见图 2。各级别马氏体针最大长度见表 4。

表 4

马氏体级别	显微组织特征	马氏体针最大长度/mm
1	隐针马氏体+残留奥氏体+碳化物	0.003
2	细针马氏体+残留奥氏体+碳化物	0.006
3	针状马氏体+残留奥氏体+碳化物	0.01
4	较大粗针状马氏体+残留奥氏体+碳化物	0.014
5	粗大针状马氏体+残留奥氏体+碳化物	0.018

5.4.2　Cr12 型钢马氏体均以金相比较法评定。在检测面上检查视场应不小于三个，取其最劣视场对照图 2 评定。

5.4.3　当有争议时，可测定马氏体针的最大长度。

5.5　W6Mo5Cr4V2 钢大块碳化物级别评定

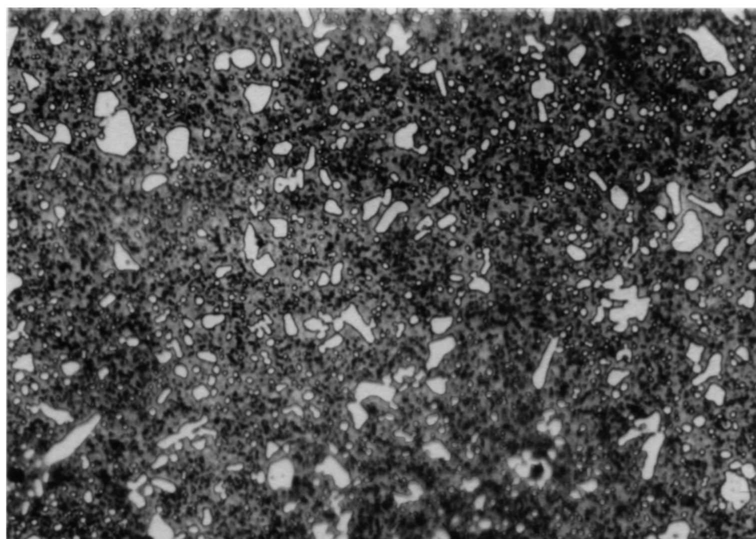
W6Mo5Cr4V2 钢大块碳化物级别参照 GB/T 4462—1984 中第二级别图评定。

5.6　W6Mo5Cr4V2 钢实际晶粒度级别评定方法

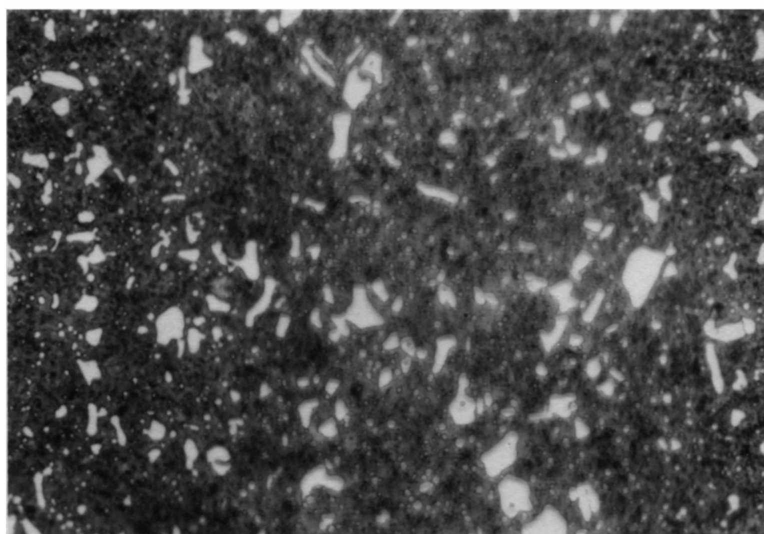
5.6.1　W6Mo5Cr4V2 钢晶粒度级别按 GB/T 6394—2002 中金相比较法评定，如发现检测面上有晶粒不均匀现象，观察视场应不少于 10 个，按大多数晶粒号评定。

5.6.2　当有争议时，可按 GB/T 6394 有关公式测算。

5.6.3　通常该类模具晶粒度应小于或等于 9 号。

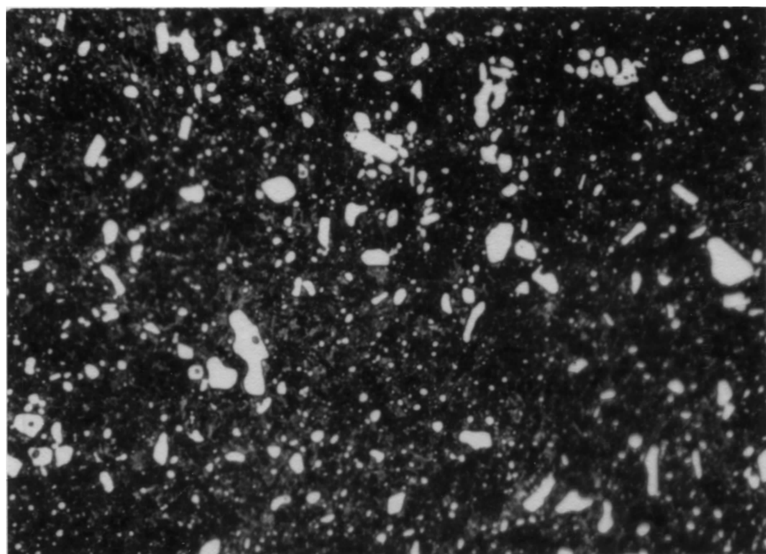


a) 1级

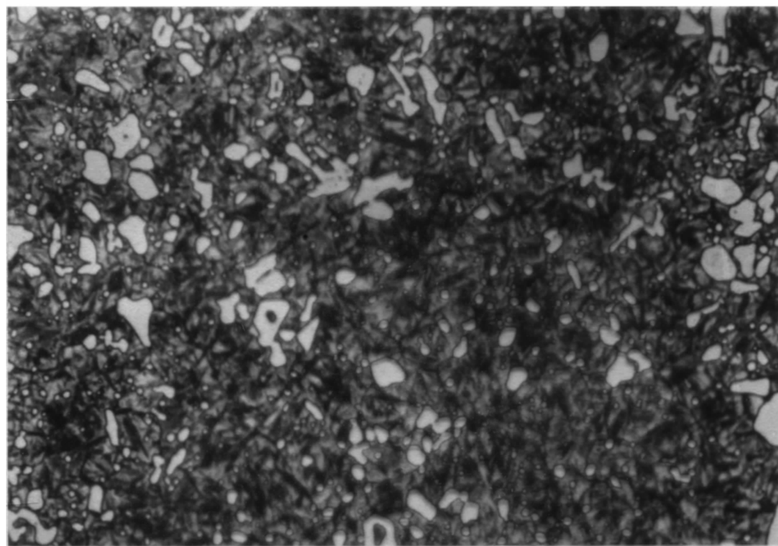


b) 2级

图 2　Cr12 型钢淬火回火马氏体级别图（×500）

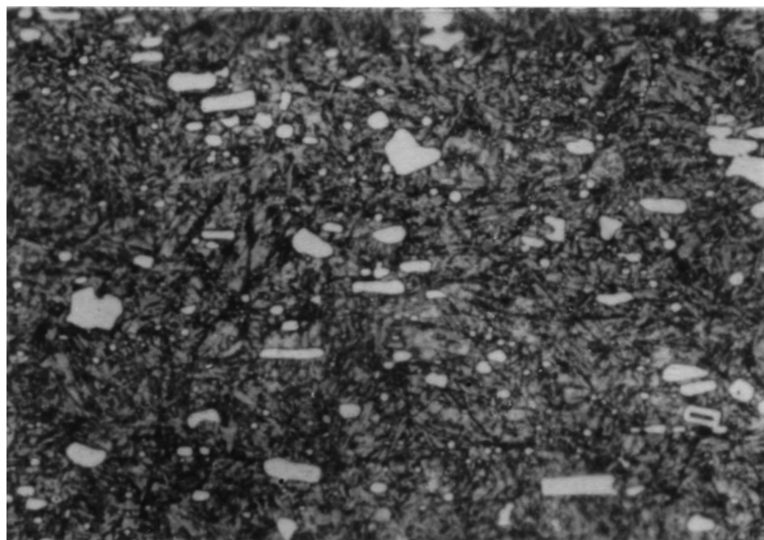


c) 3级



d) 4级

图 2 Cr12 型钢淬火回火马氏体级别图（×500）（续一）



e) 5级

图 2　Cr12 型钢淬火回火马氏体级别图（×500）（续二）

6　检验报告

检验报告应包括下列内容：

a）试样或模具名称、图号，材料成分或钢号，热处理工艺及炉批号；

b）模具检验部位及检验数量；

c）检验方法及结果，所附照片应注明放大倍数和侵蚀剂；

d）检验日期及检验者签名。

第二十四节　灰铸铁接触电阻加热淬火质量检验和评级

一、概论

接触电阻淬火工艺主要应用于机床铸铁导轨表面强化处理，以提高耐磨性和抗擦伤能力，保持机床精度，延长大修周期。该工艺于 20 世纪 70 年代和 80 年代初在我国应用达到鼎盛时期。之后，感应加热设备和导轨磨床的应用日益普及，由于感应淬火效率高、质量好、适宜成批生产，因此在某些范围内已取代或部分取代了接触电阻淬火。尽管如此，这种工艺在我国还有一定规模的应用，如在大型零件、重型机床导轨上，接触电阻淬火工艺仍不失为能有效提高使用寿命又价廉易行的一种强化手段，在机床导轨维修中这种工艺应用也很普遍，效益明显。本标准制定于 1993 年，于 2007 年进行了修订。

二、标准应用说明

1. 适用范围

规定适用于铜滚轮电极淬火的场合，因为本标准采用的评级图片均是用这种方法淬火后制得的。

2. 纵向软带

这是控制接触电阻淬火质量的关键指标之一。

3. 淬火层深度

由于淬火条纹横截面呈弓形，用金相法测其最大深度定义为淬火层深度。

4. 淬硬条纹排列

分析接触电阻淬火因条纹排列产生的质量问题主要是沿运动方向过长的不淬硬区，在工作过程中会研拉出道沟。因此，本标准规定不管是条纹不搭接，还是断线等原因，只要沿摩擦副运动方向，长度超过20mm没有淬硬条纹的区域统称为软带，一概不允许。出现软带时，应在精整后进行补淬，消除软带，这是提高淬火质量的有效方法。

对条纹排列美观问题，本标准不作硬性规定，仅提为“条纹排列力求整齐”。这是因为对于大型工件，由于淬火长度很长，要求条纹排列整齐也无法做到。

此外，为了消除软带，补淬是重要手段之一，限制接头数量将给补淬带来困难。因此，本标准对条纹接头没有进行限制。

由于本标准不允许出现软带，必然将提高接触电阻淬火工件的总体质量。

5. 淬火加热程度

本标准评定淬火加热程度只用标准图片的方法。因为本标准适用范围中已规定只用铜滚轮电极淬火的场合，所以用评级图完全可以判断加热程度是否得当。

6. 表面粗糙度

本标准规定工件待淬火表面的表面粗糙度值 Ra 为1.6～3.2μm。这一表面粗糙度值范围是接触电阻淬火工艺本身所要求的。表面过于粗糙易产生打火烧伤，表面太光滑，淬火时电极打滑。零件图样要求的表面粗糙度可通过精整加工达到，两者要求相当时，淬火后可用油石手工或机械打磨即可达到。若零件要求更高的粗糙度时，可进行精磨加工。关于精整加工余量，本标准未做规定，仅在5.6条中，用精整后的淬硬条纹的硬化层深度不得小于0.18mm，以限制过大的精整加工量。

7. 打火烧伤凹坑

偶然因素造成的打火烧伤凹坑是一种主要影响美观的缺陷。偶然凹坑处可能出现不正常的组织，如过热组织，但其尺度小，对接触的摩擦零件的使用性能影响不大，故凹坑的数量本标准未限制，而仅仅控制其密度，即任意 $100cm^3$ 内不得多于3个。

但对凹坑的直径要求较严，本标准规定不得超过1mm。这样使标准掌握的尺度更为合理，密集的凹坑有可能影响耐磨性，同时控制凹坑的密度也间接地控制了数量，此外，过大的凹坑从零件本身的外观要求来说，也是不能允许的。若出现这种情况，理应降低零件的质量等级。

8. 淬硬层的显微硬度

本标准采用GB/T 4340.1《金属材料　维氏硬度试验　第一部分：试验方法》中的规定进行测量，试验力采用0.98N。淬硬条纹横截面上的显微硬度应不低于550HV。

9. 合格级别的划分

合格与不合格级别划分的主要依据是耐磨性。对硬化区显微组织主要是隐晶马氏体加少量残留奥氏体，不含莱氏体和含有较多残留奥氏体、莱氏体与未淬火的铸铁进行耐磨性对比试验，结果见

表 4.24-1。

表 4.24-1　耐磨性对比试验结果

组别	处理状态及显微组织	相对耐磨性(%)	试验条件
Ⅰ	接触电阻淬火马氏体+少量残留奥氏体	267	压力 105.8kPa，L-AN32 全损耗系统用油润滑
	铸态，主要为片状珠光体	100	
Ⅱ	接触电阻淬火马氏体+少量残留奥氏体	223	压力 55.9kPa，L-AN32 全损耗系统用油+0.2% Cr_2O_3 润滑
	铸态，主要为片状珠光体	100	
Ⅲ	接触电阻淬火，粗大马氏体+多量残留奥氏体和莱氏体	97	压力 55.9kPa，L-AN32 全损耗系统用油+0.2% Cr_2O_3 润滑
	铸态，主要为片状珠光体	100	
Ⅳ	接触电阻淬火，粗大马氏体+多量残留奥氏体和莱氏体	75	压力 55.9kPa，L-AN32 全损耗系统用油+0.2% Cr_2O_3 润滑
	铸态，主要为片状珠光体	100	

由表 4.24-1 可见，Ⅰ、Ⅱ组正常淬火显微组织的耐磨性比铸态提高一倍以上，而Ⅲ、Ⅳ组过热过烧非正常淬火组织的耐磨性没有提高，甚至下降了。耐磨性好的隐晶马氏体加少量残留奥氏体正常淬火组织宏观照片如标准文本评级图 1 中的 2～4 级所示，淬火条纹连续，没有烧伤凹坑或有少量烧伤凹坑；而评级图 1 的 5～6 级，淬火条纹表面有较多烧伤、凹坑条纹宽度也明显大于电极轮缘宽度，其显微组织为粗大马氏体含有较多的残留奥氏体和莱氏体，耐磨性不高；评级图 1 的 1 级属加热不足，淬火条纹宽度明显小于电极轮缘宽度，淬火层过浅显微组织表现为加热不足。评级图 2 的 1～6 级分别与评级图 1 的 1～6 级对应，故合格级别均划定在 2～4 级。（北京莫伯特热处理技术有限公司姜椿年供稿）

三、标准内容（JB/T 6954—2007）

灰铸铁接触电阻加热淬火质量检验和评级

1　范围

本标准规定了灰铸铁接触电阻加热淬火质量检验和评定。

本标准适用于采用铜滚轮电极接触电阻加热淬火的场合，其他电极接触电阻加热淬火质量检验和评级也可参照执行。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507：1997）

GB/T 7216　灰铸铁金相（GB/T 7216—1987，neq ISO 945：1975）

GB/T 7232　金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 9439　灰铸铁件

3　术语和定义

GB/T 7232 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　纵向软带　longitutional soft zone

沿摩擦副运动方向，连续长度在 20mm 以上没有淬硬条纹的区域。

3.2　淬火层深度　hardened depth

用显微镜测量条纹横截面上最深的淬硬层尺寸。

4　工件淬火前的技术要求

4.1　工件应能满足 GB/T 9439 的有关要求。

4.2　工件的尺寸精度应符合图样规定，需淬火表面的表面粗糙度 *Ra* 值为 1.6～3.2μm。

4.3　需淬火的表面硬度，当工件重量小于 3t 时不低于 190HBW，工件重量大于 3t 时不低于 180HBW。

4.4　工件显微组织基体中珠光体含量应不小于 90%，片间距离不大于 2μm。

5　工件淬火后的质量

5.1　淬硬条纹排列

5.1.1　淬硬条纹排列应力求整齐。

5.1.2　淬硬面上不允许有纵向软带。

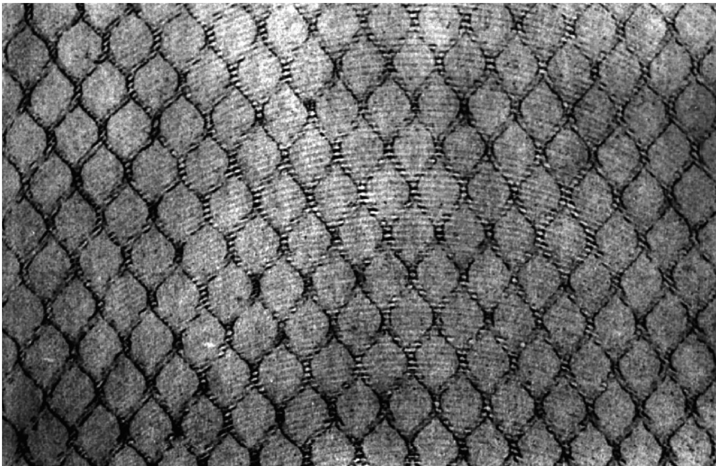
5.1.3　淬硬条纹起始和终止位置的公差不得大于 10mm。

5.2　精整加工后的淬硬表面的精度和粗糙度应符合图样要求。

5.3　将精整过的淬硬表面按淬火条纹六级评级图评定（见表 1 和图 1），其中 2～4 级为合格。与其相应的显微组织示于图 2。

表 1　淬火条纹评级及其加热程序说明

级别	加热程序说明
1	条纹有断续，宽度明显窄于电极轮缘的宽度，条纹颜色浅淡，条纹两侧无热影响区，属加热不足
2	条纹有少量断续，宽度略窄于电极轮缘的宽度，条纹颜色略浅，条纹两侧出现很窄的热影响区，属正常加热下限
3	条纹基本无断续，宽度约等于电极轮缘的宽度，条纹颜色正常，条纹两侧有热影响区，属正常加热
4	条纹无断续，出现少量烧伤凹坑，宽度约等于电极轮缘的宽度，条纹颜色正常，条纹两侧热影响区加宽，属正常加热上限
5	条纹无断续，出现较多烧伤凹坑，宽度略大于电极轮缘的宽度，条纹颜色较深，条纹两侧热影响区加宽，属过热
6	条纹常有断续，烧伤凹坑很多，宽度明显大于电极轮缘的宽度，条纹呈灰黑色，条纹两侧热影响区很宽，属过烧



1级

图 1　淬火条纹评级图（×1）

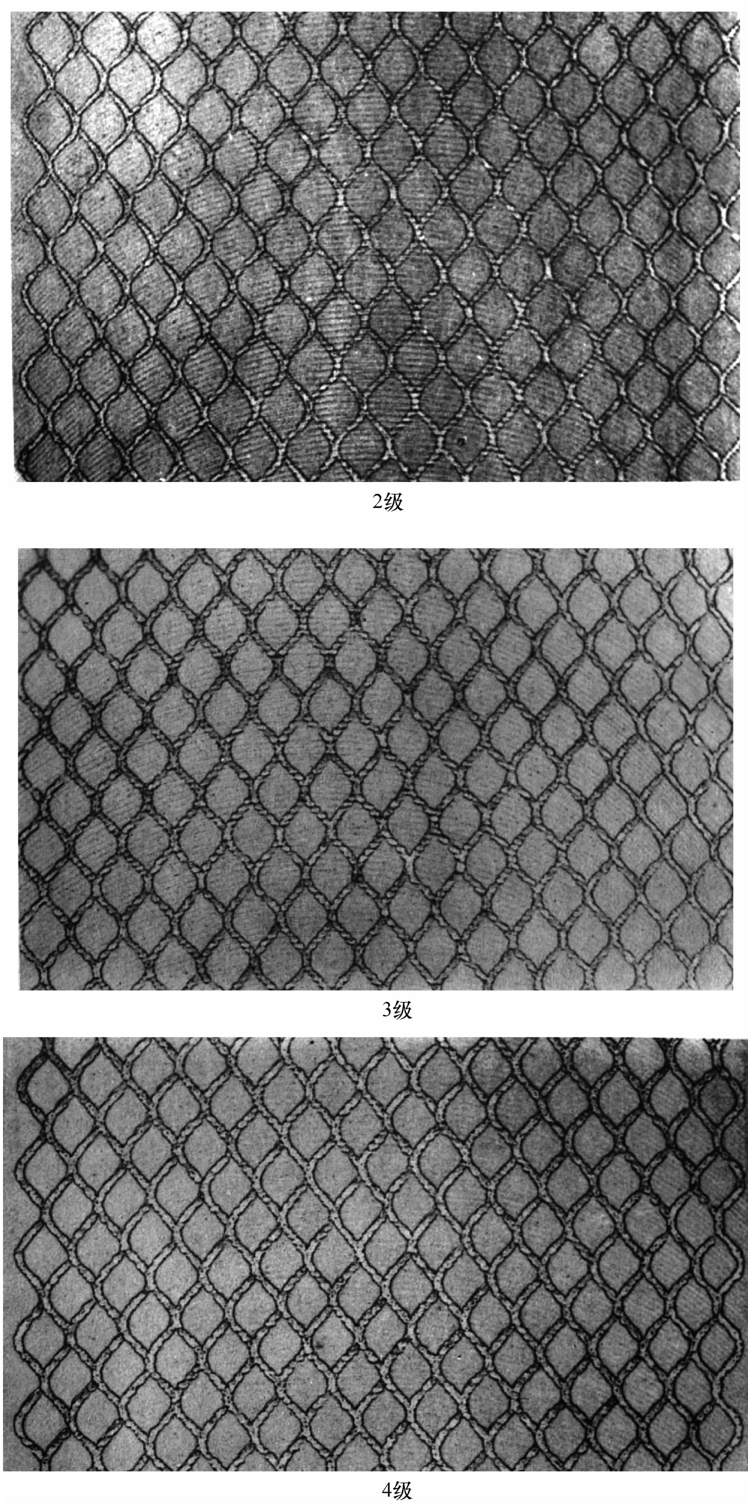
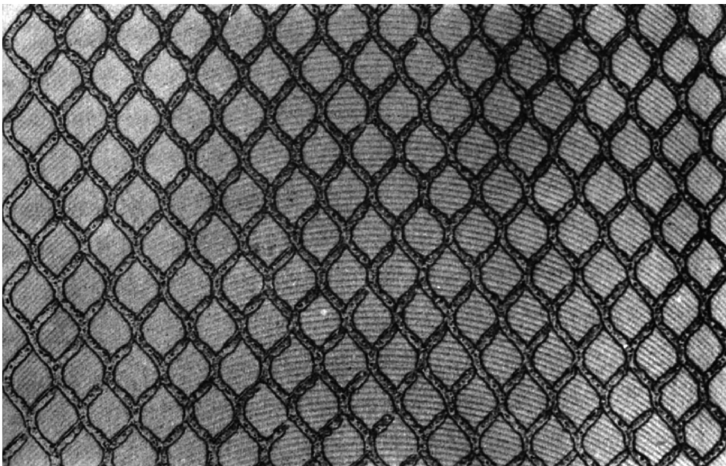
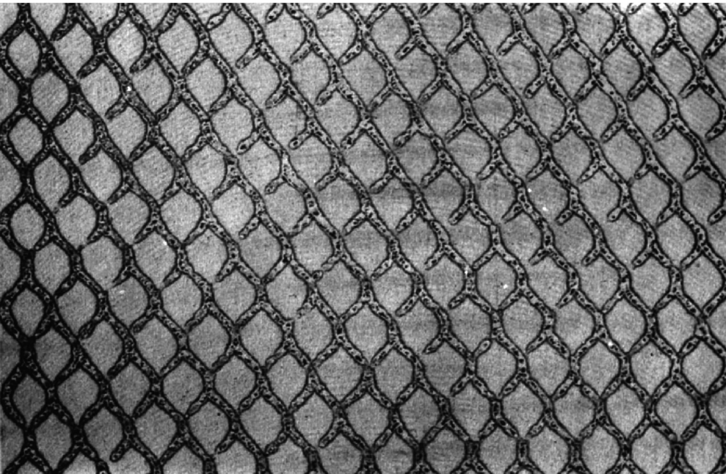


图 1　淬火条纹评级图（×1）（续一）



5级



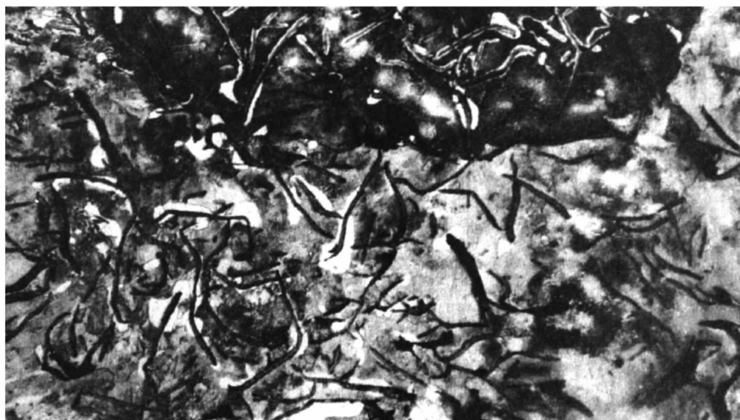
6级

图 1　淬火条纹评级图（×1）（续二）



1级

图 2　淬硬层显微组织评级图（×100）
腐蚀剂：4% 硝酸酒精



2级



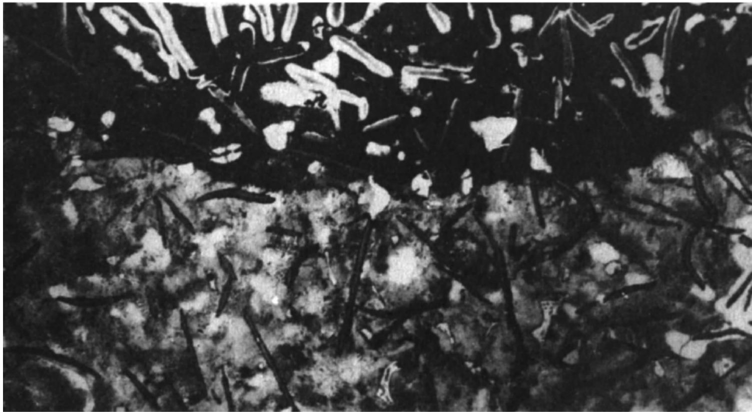
3级



4级

图 2　淬硬层显微组织评级图（×100）（续一）

腐蚀剂：4% 硝酸酒精


5级

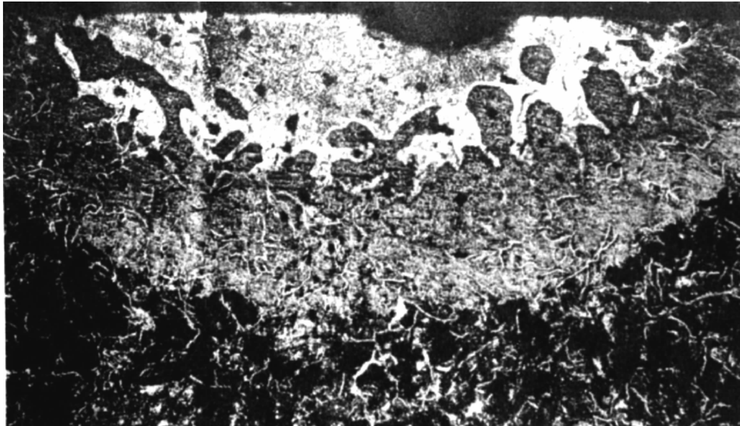

6级

图2　淬硬层显微组织评级图（×100）（续二）
腐蚀剂：4%硝酸酒精

5.4　淬硬面积应不小于需淬火面积的25%，测量和计算方法见附录A。

5.5　打火烧伤凹坑直径不得超过1mm。在任意100cm^2面积内，直径大于0.2mm的凹坑不得多于三个。

5.6　精整后的工件淬硬层深度不得小于0.18mm，测量方法见附录B。

5.7　淬硬条纹横截面上的显微硬度应不低于550HV，但两条条纹相交接区域的硬度不受此限制。

6　检查方法与抽检率

6.1　按表2规定的检查方法和抽检率检查淬硬工件和试样。

表　2

序　　号	检验项目	检验对象	检验方法	抽检率
1	淬硬条纹排列	工件	目　　测	100%
2	精整质量	工件	测粗糙度	100%
3	淬火加热程度	工件	与评级图1对比	100%
4	淬硬面积	工件	测量计算按附录A	10%
5	烧伤凹坑	工件	目　　测	100%

（续）

序　　号	检验项目	检验对象	检验方法	抽 检 率
6	淬硬层深度	试样	按附录 B	必要时
7	淬硬层硬度	试样	按 GB/T 4340.1 负荷 0.98N	必要时
8	淬硬层显微组织	试样	按 GB/T 7216 金相检验与评级图 2 对比	必要时

注：抽检试样的材料和处理工艺与工作相同。

6.2　有特殊要求时，按供需双方共同协商确认的技术条件验收。

附　录　A
（规范性附录）
淬硬面积百分比的测量和计算方法

淬硬面积的测量应在精整加工后进行。用游标卡尺测出淬硬条纹的宽度 b、条纹间距 h、一个圆弧花纹的弦长 A 和半径 R（见图 A.1）。

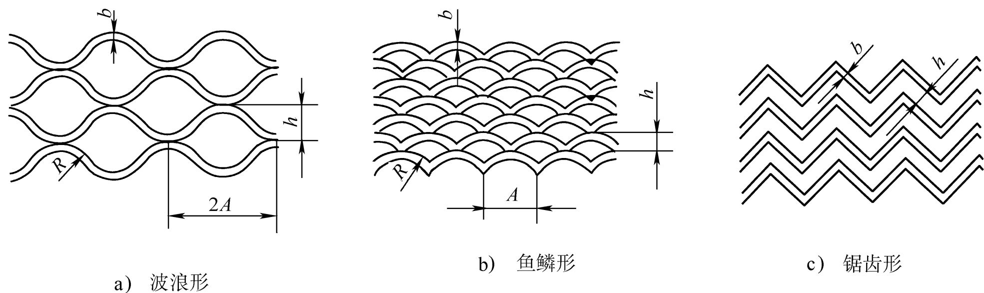


图 A.1　测量淬硬面积百分比示意图

按下列公式计算淬硬面积百分比（S）：

a）波浪形和鱼鳞形：

$$S=\frac{\pi b\ (2R-b)}{360Ah}\arccos\frac{R^2-A^2}{R^2}\times 100\% \qquad (A.1)$$

b）锯齿形：

$$S=\frac{b}{h}\times 100\% \qquad (A.2)$$

附　录　B
（规范性附录）
淬硬层深度的测量方法

在试样表面有代表性部位，垂直淬火条纹切取金相试样，用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀，在显微镜下放大 100 倍，在淬硬层最深处测量数值 H，即为淬硬层深度（见图 B.1）。

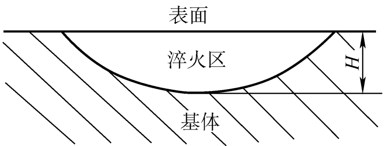


图 B.1　测量淬硬层深度示意图

第二十五节　钢质模锻件金相组织评级图及评定方法

一、概论

模锻件的应用是十分广泛的，它遍及各种机械行业。特别是汽车、拖拉机行业，模锻件的应用占着重要的位置。以汽车为例，发动机中的曲轴、凸轮轴、连杆，变速器中的齿轮和轴、后桥总成中的半轴，差速器总成中的齿轮以及传动系统和转向系统的许多零件都采用了模锻件。这些零件基本上都是汽车上承受巨大载荷，要求确保其可靠性和安全性的重要零件。

在模锻中，95%以上用优质钢生产。它们一般要通过锻后热处理——正火或调质，使锻件获得不同的力学性能，达到各种改善使用性能和加工性能的目的。要保证这些锻件的质量，就必须严格控制锻件热处理过程，使其内在质量达到预定的要求。金相组织检验就是控制锻件内在质量的重要手段之一。金相检验不仅能反映出锻件热处理的结果，还能够考察热处理工艺的合理性，为改进工艺提供科学依据。这些仅靠对锻件进行传统的硬度检验是难以做到的。本标准定出了金相组织评级图及评定方法。制定本标准的目的，就是要为金相组织的检验制定出一个统一的客观尺度。本标准于1991年制定，于2007年进行修订。

GB/T 13320—2007与GB/T 13320—1991相比，主要变化如下：

1）增加等温正火、锻后控冷处理工艺方法，以及有效厚度的术语和定义。

2）在适用范围中取消“汽车、拖拉机、通用机械”等字样。

3）取消原标准第2章中所列出的各种钢号。

4）原标准第三组和第四组评级图合并成为本标准的第三组评级图，即调质钢调质处理锻件的评级图。

5）取消原标准3.2条。

6）取消原标准4.1中“可以取有代表性的两处”字样，试样的制取以本标准中5.2条代替。

7）取消原标准5.1中“可以用半级表示”的方法。

8）图片中的说明取消“部分”“少量”等说法，改用形态及均匀性进行说明。

二、标准应用说明

本标准所指的金相组织均系指锻件的基体组织，因此锻件脱碳、过热、过烧等的评定不在本标准范围之内。

1. 评级图的分组与分级

经调查，目前汽车、拖拉机锻件所用的钢种90%以上为碳素结构钢和中、低碳合金结构钢。据此，按其组织相近的钢种、钢号和不同的热处理方式，将本标准评级图分为三个组，每组分为8级。

第一组评级图见标准中的图1，适用于中碳结构钢正火处理的锻件以及中碳低合金非调质钢锻后控冷处理的锻件。

第二组评级图见标准中的图2，适用于渗碳钢正火、等温正火及锻后控冷处理的锻件。

第三组评级图见标准中的图3，适用于调质钢调质处理的锻件。

这三组评级图所选定的钢种、钢号具有足够的覆盖面。其他与本标准钢号相近的钢种，其金相组织评定也可参照使用本标准。

随着生产的发展，一些新的钢种、钢号正在开发应用或引进，对于这些新的材料，由于掌握的

资料不充分，本标准没有列入。这就有待今后取得经验之后，再对标准加以充实了。

此外，对于弹簧用钢、气门用钢等也未列入本标准。

2. 正火锻件评级标准的分级原则

汽车、拖拉机模锻件正火处理的目的是，消除锻造状态的粗大组织，改善力学性能和加工性能，防止冷加工后或第二次热处理时的变形。锻件从锻造状态到完全正火状态其组织可分为：锻造状态、部分正火状态、不完全正火状态和完全正火状态等几种类型。在确定锻件正火组织等级时，就是本着既包括了上述几种组织状态，又不划分过细，评定时容易判定，生产中应用方便的原则，每组标准划为 8 个等级。

我国汽车、拖拉机行业目前所用的齿轮、齿轴类锻件的材料，主要是 20CrMnTi 钢。因此，本标准以它作为选择低合金渗碳钢正火锻件评级图的依据。20CrMnTi 钢从锻造状态到完全正火状态，不同级别的组织与硬度有一定的关系。本标准中的图片所选用的各个级别的试样的硬度值相应为：1 级，156HBW（$d=4.8$mm）；2 级，163HBW（$d=4.7$mm）；3 级，163HBW（$d=4.7$mm）；4 级，163HBW（$d=4.7$mm）；5 级，170HBW（$d=4.6$mm）；6 级，179HBW（$d=4.5$mm）；7 级，187HBW（$d=4.4$mm）；8 级，216HBW（$d=4.1$mm）。

因此，评定 20CrMnTi 钢正火锻件的金相组织时，最好与其硬度测定参照进行。

3. 调质锻件评级标准的分级原则

目前，在我国汽车、拖拉机行业中，进行调质处理的锻件，一般都采用中碳和中碳低合金结构钢材料。调质处理的目的，就是在提高锻件强度的同时，又使锻件具有较好的韧性，即提高锻件的综合力学性能。

这两类结构钢锻件均采用调质处理，即淬火后再高温回火的工艺。锻件在高温回火前的组织状态大致可分为：完全淬火状态、不完全淬火状态、半淬火状态、部分淬火状态、过冷组织和接近正火状态等几种类型的组织。经过高温回火处理后的组织形态，取决于淬火后的组织形态。因而经调质处理的锻件组织，形态也可以分为相应的几种类型。中碳和中碳低合金结构钢调质锻件金相组织评级图的分级就是按这一原则划分的，每组评级图也是分为 8 个等级。

汽车、拖拉机调质锻件淬火后的回火温度一般为 560～660℃。回火温度较低的锻件组织特点是保留较为明显的组织方向性；回火温度较高的锻件组织特点是球状化程度比较大，在 500 倍左右显微镜下观察碳化物呈球状分布。在实际应用时，应注意到这点。

4. 评级图级别的划分和图片的选定

三组评级图分别划分为 8 个等级。1 级组织最好，8 级组织最差。正火评级图中，1～4 级为完全正火状态或基本正火状态组织；5～8 级为不完全正火、半正火或锻造状态组织。调质评级图中 1～4 级为淬火回火组织，其中 4 级相当于淬火半马氏体回火组织。淬火状态下半马氏体组织与钢中碳含量的关系，见图 4.25-1。在显微镜下确定淬火状态钢锻件的半马氏体点时，可在同一试样截面上从边部到心部测定硬度分布情况，并绘出硬度分布曲线，作为对照参考。

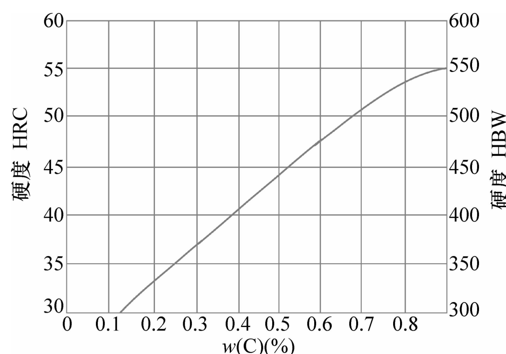


图 4.25-1 半马氏体硬度与碳含量的关系

在确定较大截面调质锻件的淬透深度时，4 级组织一般可视为临界组织。即 1～4 级为淬透深度组织；5～8 级分别为部分淬火、过冷状态或接近于正火的组织。较大截面锻件的过渡区或心部组织，一般为 5～6 级或 7～8 级。当热处理工艺不良或

生产中违反工艺操作时，即使较小截面的锻件也会出现5～6级或7～8级组织。

三组评级图中，各级图片的金相试样都是从日常生产检验的试样中直接选取的。因此，这三套图片切合生产实际，有较好的可比性和实用性。

为了标准使用的方便，在相图下面均做了关于组织特性的简要说明，说明中所用的术语均按GB/T 7232的规定。

5. 不同级别的金相组织与性能的关系

在调质锻件上直接取样，试验结果对比和判断均较困难。因此我们选用45钢，加工成拉伸和冲击试样毛坯，然后在试验室内用小型电炉进行各种不同工艺的淬火处理，获得整个截面比较均匀的各种不同级别的金相组织，再进行高温回火处理，加工成标准试样进行试验。

试验结果表明，不同级别的金相组织，其硬度和抗拉强度、伸长率和断面收缩率差别不大，而屈服强度和冲击韧度随着组织级别的增大而明显降低（见图4.25-2、图4.25-3）。

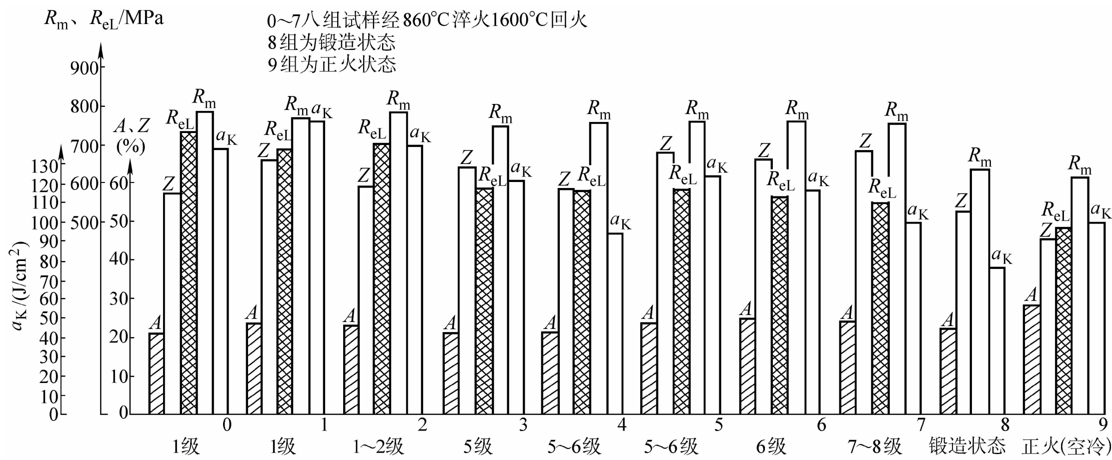


图4.25-2 45钢金相组织级别与力学性能的关系

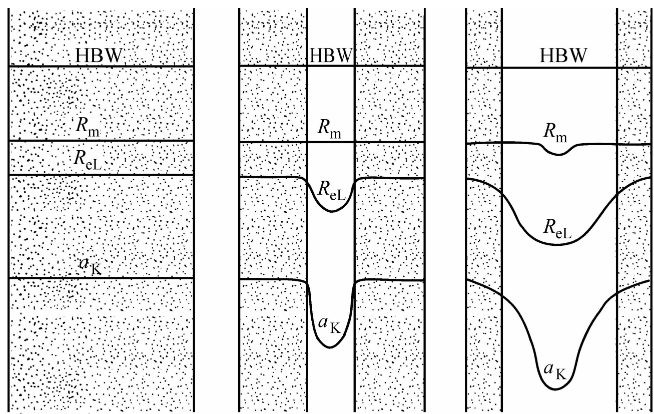


图4.25-3 淬火及高温回火后钢的淬透深度对力学性能的影响示意图

正火处理的对比试样，各项性能数值均明显低于调质处理的试样，而锻造状态的对比试样更低。

碳化物的形态是对屈服强度和冲击韧度产生影响的主要因素。经调质处理后的粒状珠光体组织，其碳化物呈粒状分布，均提高。未淬火组织即珠光体、索氏体等，经高温回火后其碳化物形态仍保持条片状组织，屈服强度和冲击韧度较低，但对硬度和抗拉强度等影响不大。

在制订标准时，曾对3001031/032-01转向节臂进行了疲劳试验。结果表明，除硬度影响外，不同级别的金相组织，其疲劳性能也有明显的差别。其对应关系见表4.25-1。

表4.25-1　金相组织与疲劳强度的关系

组织级别	1~3	4	5~6	7~8
疲劳强度/万次	>4	3	2	

6. 评级图的应用

本标准是从金相组织的角度为锻件的内在质量规定的统一评定尺度的，是一个通用性标准。具体锻件金相组织的合格级别，应由锻件生产企业根据锻件的技术条件决定或由锻件供需双方协商决定。因此，在生产中贯彻和应用本标准时，必须根据本企业实际情况参照本标准，制定出相应的锻件金相检验技术条件，其内容应包括锻件生产过程的简要工序、材料钢号、锻件的硬度要求、锻件简图、取样部位、边部和心部金相组织的合格级别，调质件有的还要规定淬硬层深度等（见标准附件A）。

合格级别的确定，主要是依据设计要求、锻件的钢种、钢号、锻件截面的大小及几何形状、冷加工情况、第二次热处理情况及锻件在使用中的承载状况等因素，并结合热处理工艺特点的具体情况来确定。其中最主要的是要满足设计对锻件性能的要求。合理的选定试样截取部位和正确确定合格级别是非常重要的。

在汽车、拖拉机上有95%左右的锻件是用优质钢材生产的。其锻后的热处理基本上分为正火和调质两类（非调质钢和等温退火除外）。一般来说，正火处理的锻件金相组织应当是正火状态组织；调质锻件金相组织应当是调质状态组织。但在实际生产中，由于不同锻件的尺寸大小，几何形状不同，选用钢种、钢号的不同，经正火或调质处理后的金相组织也不相同。即使是同一个锻件的不同部位，其组织也不完全相同。但是，在多年生产检验实践中，我们发现金相组织的变化具有一定的规律性。即在原材料的成分、性能正常的情况下，热处理工艺合理，并严格按照工艺规定进行热处理的锻件，无论是经正火处理还是经调质处理，分别在每种锻件的固定部位截取试样进行金相检验，正火件的组织及分布形状、晶粒度大小，调质件的边部组织、心部组织、淬硬层的深度和分布形状等基本上是稳定一致并具有规律性的。综合分析这些有规律性的组织状态，正是评定锻件热处理后内在质量的基本方法。

合格级别的确定，在满足设计要求的前提下，还要合理地考虑生产实际情况。过严，不利于生产或在生产中根本做不到，过宽，则失去控制内在质量的实际意义。例如，中型载货汽车的前轴为45钢，锻后调质处理，因为其截面较大，表面淬硬层只能达到3~4mm，如果对其淬硬层要求过深是不现实的。又如40Cr或40MnB合金钢调质件，当截面直径在40mm以内时，可获得完全淬硬组织，其心部组织，可达3~4级；如果当直径较大时，心部不可能淬透，其淬硬层深度一般可达6~10mm。当然，这里所说的“考虑生产实际情况”并不是指对落后的热处理生产工艺现状的迁就，而是对正常的、合理的工艺条件而言的。

7. 试样的选取和制备

正确地选取检验试样的部位非常重要。取样部位应是零件的关键部位或能够反映锻件热处

理质量特征的部分。所谓关键部位就是零件受力最大和易损坏部位。例如，汽车连杆选取中间杆部位置，若选两端大小头部就没有意义了，此外连杆的杆部也正好是能够反映锻件热处理质量特征的部位。其他如半轴、变速器中的第一轴、制动凸轮等，均为局部加热锻造成形的零件，其杆部不加热、不锻造，因此，只能选取头部锻造成形部分进行组织检验。

关于试样截取方法和试样尺寸等，见标准中的第 5 章。

8. 金相组织的评定

（1）各组评级图均分为 8 个等级，按 1～8 级评定。

（2）正火锻件的金相组织在金相显微镜下放大 100 倍观察，取其最差组织部位，分别按第一组评级图或第二级评级图评定组织级别。边部组织是指锻件表面 1～5mm 范围内的组织，心部组织是指锻件截面中心附近的组织。

（3）调质锻件的金相组织在金相显微镜下放大 500 倍观察，取其最差组织，第三评级图评定组织级别。边部金相组织对于碳素结构钢是指距锻件表面 1～3mm 范围内的组织，合金钢为 1～4mm 范围内。心部组织一般是指锻件截面中心附近的组织；当截面尺寸大于 60mm 时，取距表面不小于 20mm 处作为心部组织。

9. 标准实施中应注意的几个问题

在检验评定锻件的边部组织时，要抛开锻件表面 1mm 区域。这是因为锻件的表面一般来说，均有不同程度的脱碳，但一般情况下均不应超过 1mm，脱碳区域的组织，不能作为锻件的基体组织来评级。这里还需要指出的是，当锻造生产工艺或热处理工艺不合理或违反工艺生产时，有时会使锻件表面产生比较严重的脱碳，其脱碳层总深度有时甚至超过 2mm。在金相检验中，当遇到这种情况时，应将脱碳区域完全避开，从无脱碳区开始进行边部组织检验和评级。对于超常的脱碳层，建议将深度值写入检验报告。供评定锻件质量时的参考。

金相组织千变万化，特别是在较高的倍数下观察，即使是同一试样、同一部位，在显微镜下，每移动一个视场，其显微组织形态也不可能完全一致。在评定组织级别时，应主要掌握以下几点。

1）在 100 倍显微镜下，观察评定正火锻件金相组织时，主要看基体组织是否全部转变为正火状态晶粒比较均匀的片状珠光体 + 铁素体组织；锻造状态的粗大晶粒和魏氏组织或粒状贝氏体（20CrMnTi 钢）消除程度如何，残留部分有多少以及晶粒度的大小和均匀程度。参照与本标准相对应的评级图组，综合评定级别。没有必要苛求组织形态中每个组织相的完全一致。当某相组织的形态及性质在 100 倍显微镜下不易分辨时，可用较高倍数进行定性分析。但评定级别时仍在 100 倍显微镜下进行。

2）在 500 倍显微镜下，观察评定调质锻件金相组织级别时，主要看回火组织是由那些淬火组织转变形成的。在截面很小的中碳结构钢和截面为 ϕ40mm 以内的中碳低合金结构钢锻件中，淬火后一般情况下为针状马氏体、针状马氏体 + 部分托氏体或贝氏体（合金钢）或针状马氏体 + 部分托氏体（或贝氏体） + 部分游离铁素体的回火转变组织。当淬火不良或锻件截面较大时，特别是在锻件的过渡区及心部，可同时产生多相并存的金相组织，即针状马氏体、托氏体（或贝氏体）、游离状分布或呈网状分布的铁素体、细片状珠光体等多相混合组织的回火产物。经高温回火后，这些组织的形态仍然是有区别的。当在 500 显微镜下分辨不明显时，可改用较高倍数观察分析定性。同时还要看游离铁素体的含量多少、大小和分布形态。综合以上情况参照本标准相对应的评级图组综合评定级别。（标准起草工作组供稿）。

三、标准内容（GB/T 13320—2007）

钢质模锻件金相组织评级图及评定方法

1　范围

本标准规定了钢质模锻件的金相组织评级图（以下简称评级图）及评定方法。

本标准适用于经过调质处理、正火处理、等温正火处理、锻后控冷处理的结构钢模锻件。

本标准不适用于对锻件脱碳、过热、过烧等组织的评定。

2　术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

2.1　等温正火　isothermal normalization

将锻件加热到高于 Ac_3（或 Ac_1）的某一温度，保温一段时间后，控制冷却到珠光体相变区某一温度并等温保持一段时间，使奥氏体转变为珠光体型组织，然后在空气中冷却的热处理工艺。

2.2　锻后控冷　control cooling after forging

锻件在锻造成形后，利用余热通过控制锻件的冷却速度，使其得到珠光体加铁素体组织或贝氏体组织的工艺方法。

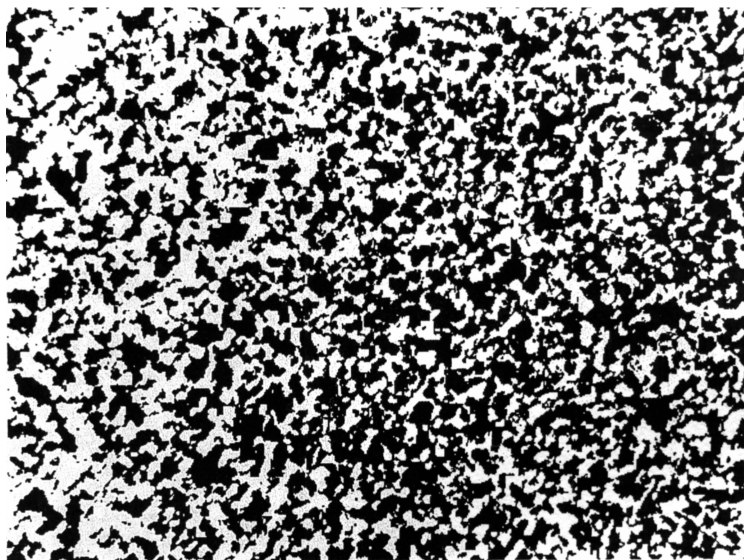
2.3　有效厚度　effective thickness

锻件各部位的壁厚不相同时，如果按照某处壁厚确定加热时间可以保证热处理质量，则该处壁厚即称为锻件的有效厚度。

3　评级图的分组与分级

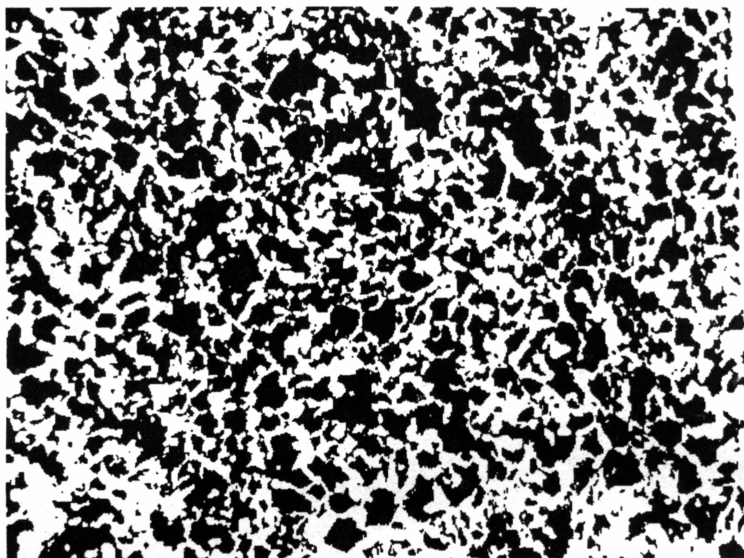
评级图分为以下三组，每组分为 8 级。

第一组评级图见图 1，适用于中碳结构钢正火处理的锻件以及中碳低合金非调质钢锻后控冷处理的锻件。

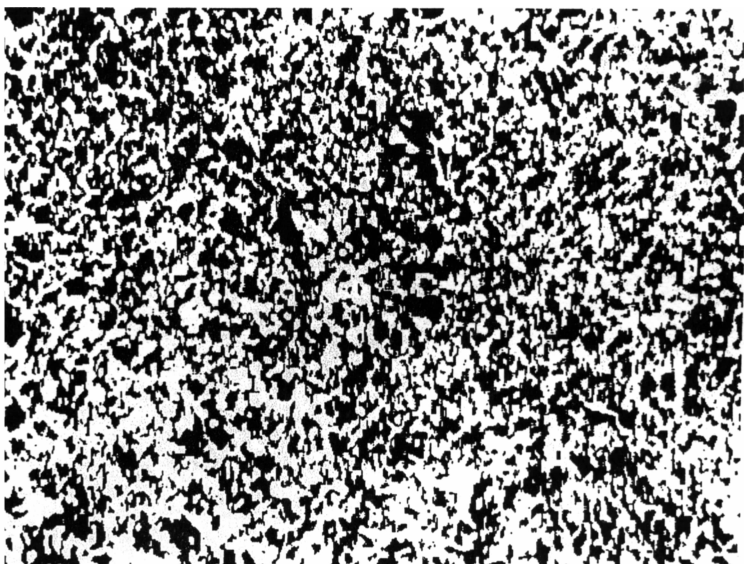


a) 1级　珠光体+铁素体，晶粒均匀

图 1　中碳结构钢正火组织　（×100）

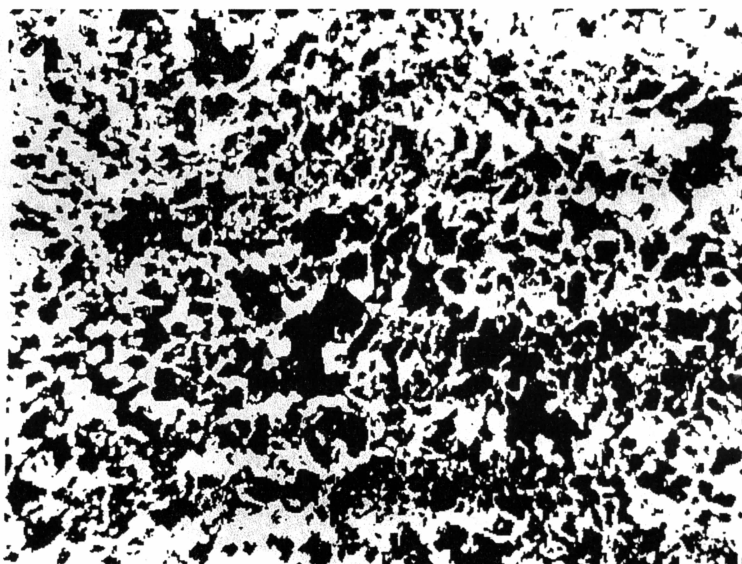


b) 2级　珠光体+铁素体，晶粒较均匀

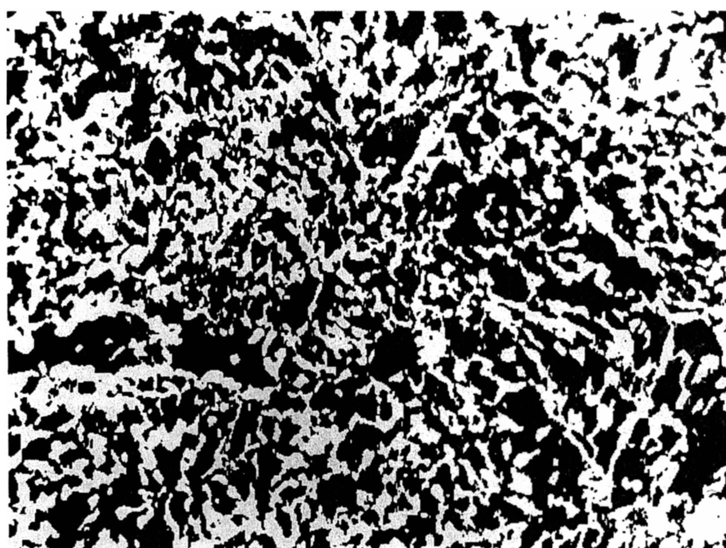


c) 3级　珠光体+铁素体，晶粒碎化

图 1　中碳结构钢正火组织　(×100)（续一）

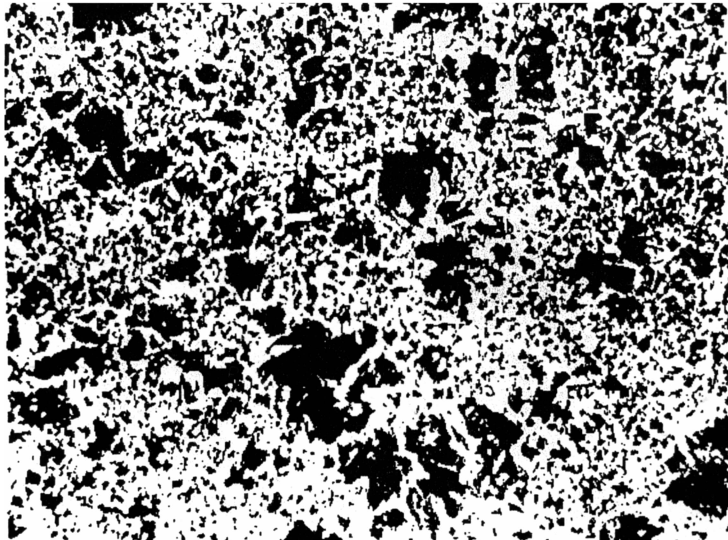


d) 4级　珠光体+铁素体，晶粒不均匀

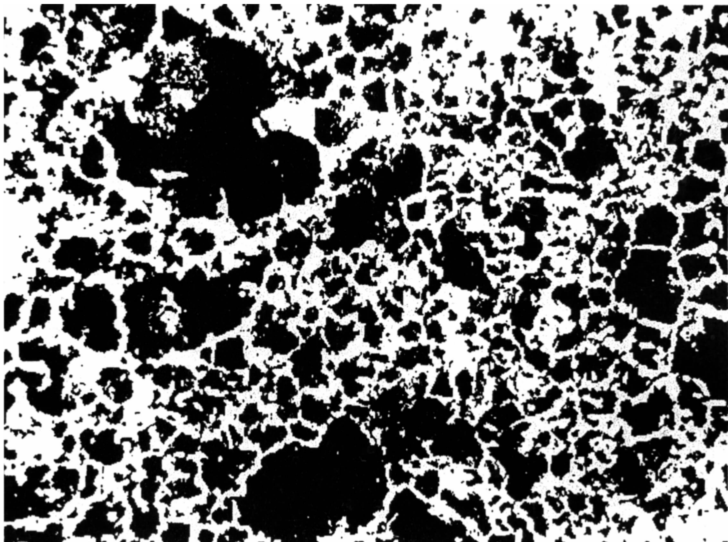


e) 5级　珠光体+铁素体，晶粒不均匀

图1　中碳结构钢正火组织　（×100）（续二）

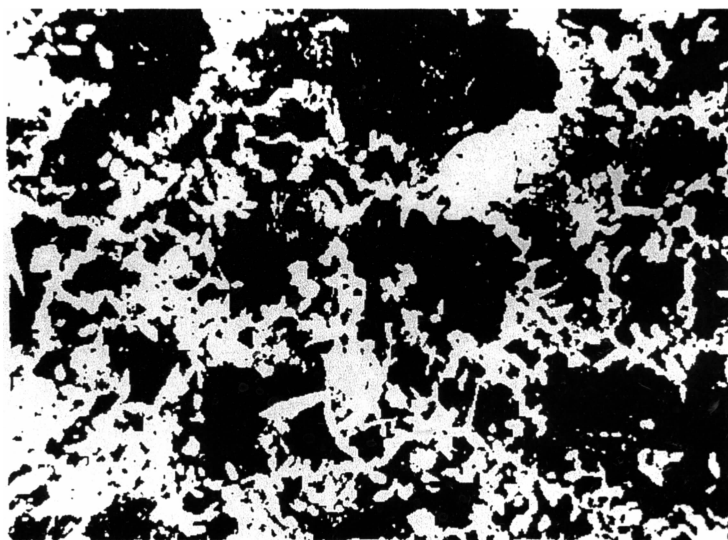


f）6级　珠光体+铁素体，有魏氏组织



g）7级　珠光体+网状铁素体，混合晶粒，有魏氏组织

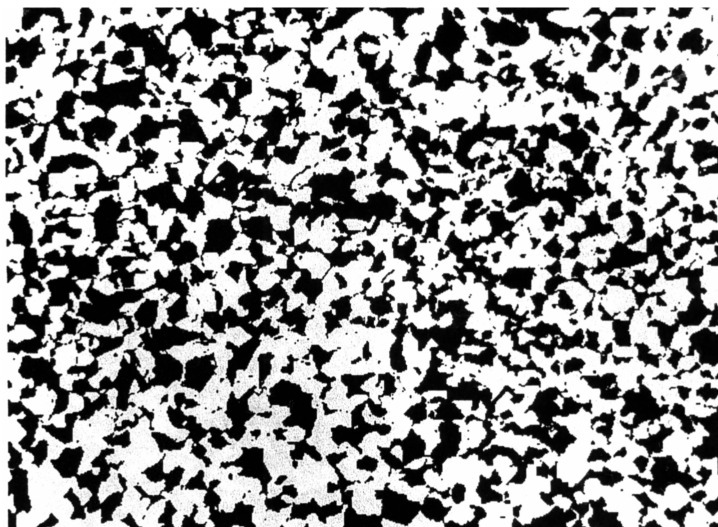
图1　中碳结构钢正火组织　（×100）（续三）



h) 8级 珠光体+铁素体，魏氏组织

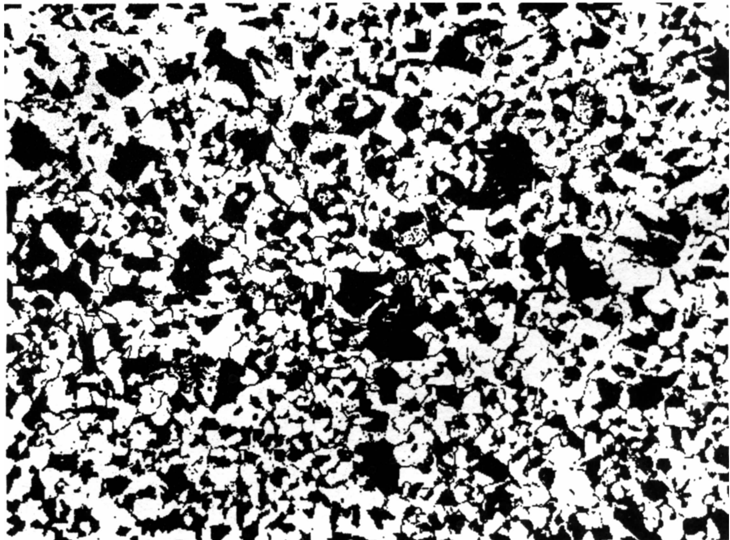
图1 中碳结构钢正火组织 （×100）（续四）

第二组评级图见图2，适用于渗碳钢正火、等温正火及锻后控冷处理的锻件。

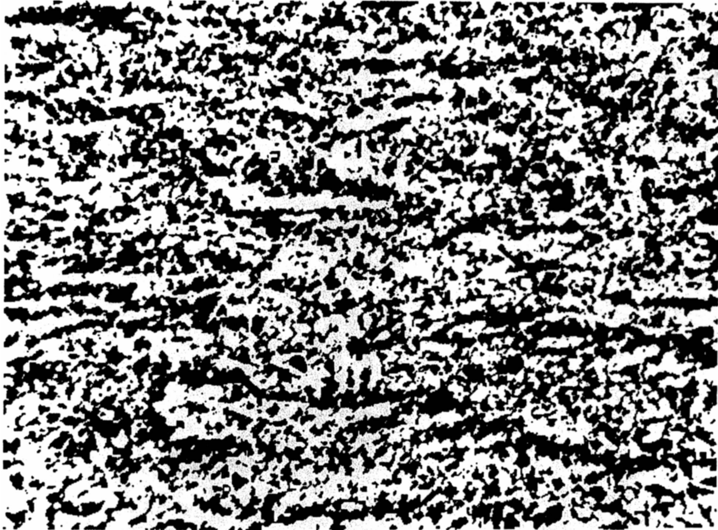


a) 1级 珠光体+铁素体，晶粒均匀

图2 渗碳钢正火组织 （×100）



b) 2级　珠光体+铁素体，晶粒较均匀

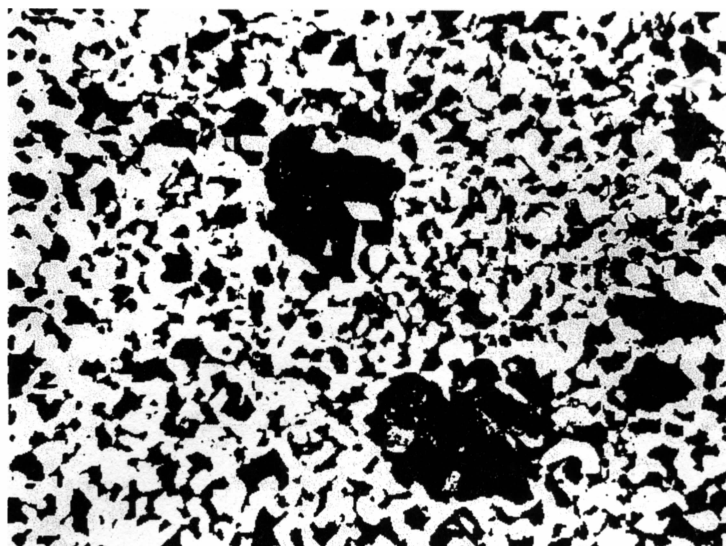


c) 3级　珠光体+铁素体，有带状倾向

图2　渗碳钢正火组织　（×100）（续一）

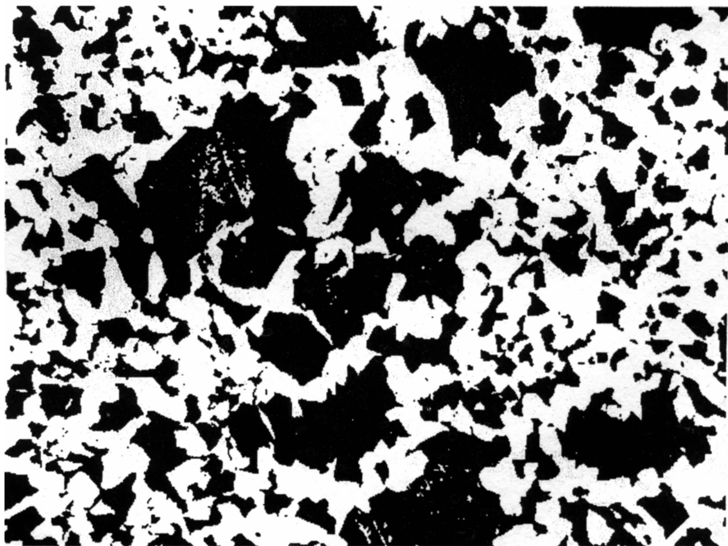


d) 4级　珠光体+铁素体，晶粒细碎

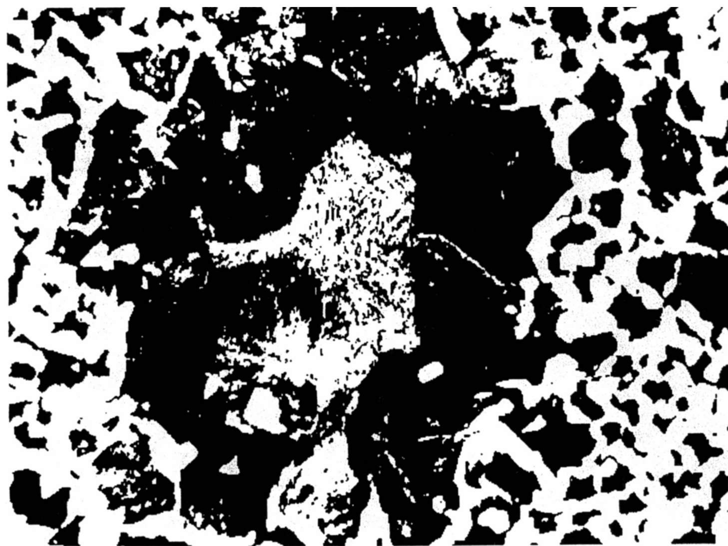


e) 5级　珠光体+铁素体+粒状贝氏体，局部混晶

图2　渗碳钢正火组织　（×100）（续二）



f) 6级　珠光体+铁素体+粒状贝氏体



g) 7级　铁素体+珠光体+粒状贝氏体，混晶

图2　渗碳钢正火组织　（×100）（续三）

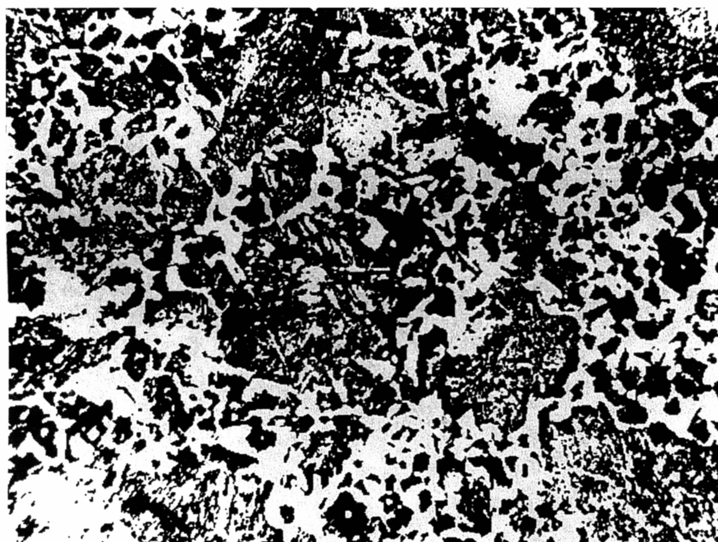

h) 8级　铁素体+粒状贝氏体+珠光体，魏氏组织

图 2　渗碳钢正火组织　（×100）（续四）

第三组评级图见图 3，适用于调质钢调质处理的锻件。

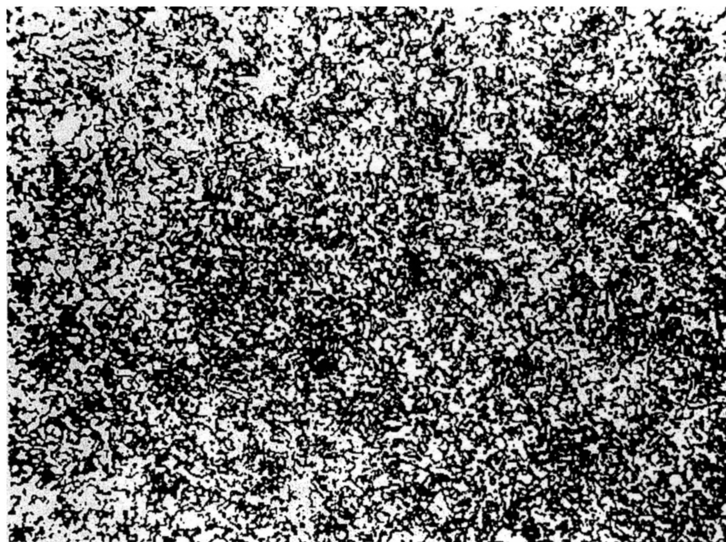

a) 1级　回火索氏体

图 3　调质钢调质组织　（×500）

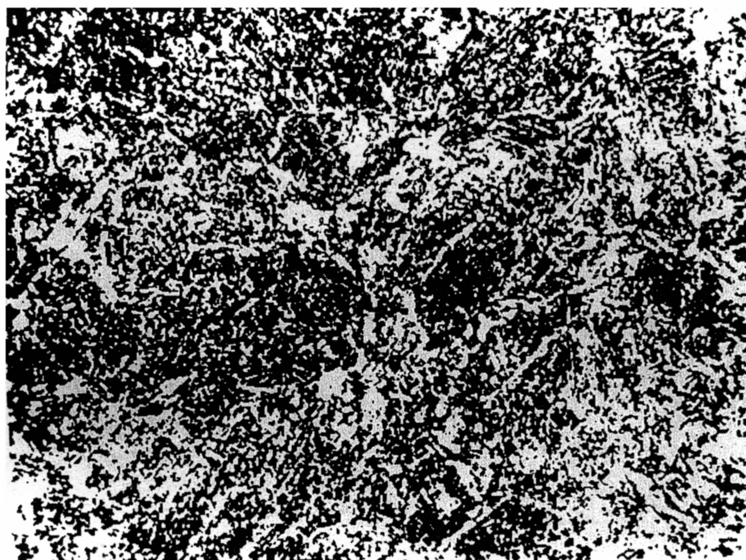


b) 2级　回火索氏体+铁素体

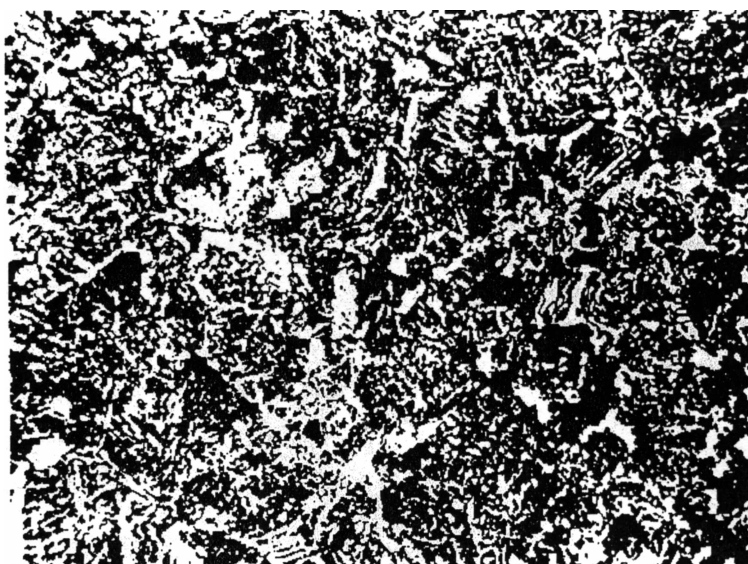


c) 3级　回火索氏体+铁素体

图3　调质钢调质组织　（×500）（续一）

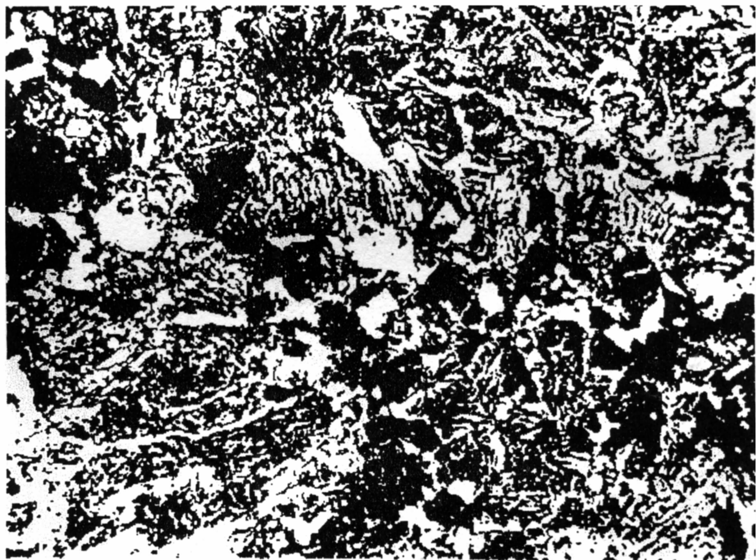


d) 4级　回火索氏体+条状及块状铁素体

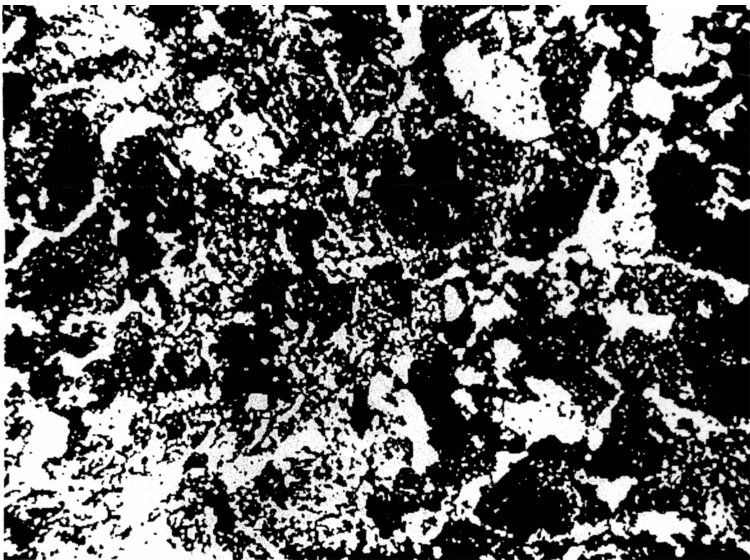


e) 5级　回火索氏体+屈氏体+条状及块状铁素体

图 3　调质钢调质组织　（×500）（续二）

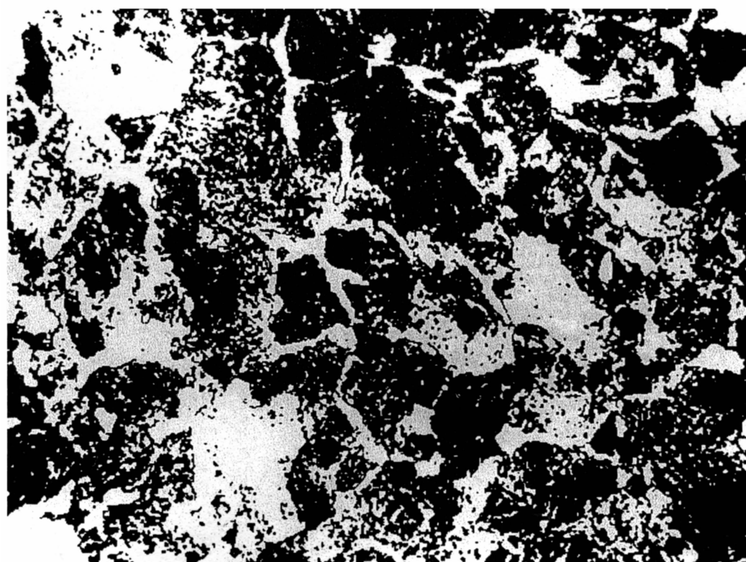


f) 6级　回火索氏体+屈氏体+条状及块状铁素体



g) 7级　屈氏体+回火索氏体+条状及块状铁素体

图3　调质钢调质组织　（×500）（续三）



h) 8级　珠光体+索氏体+网状及块状铁素体

图3　调质钢调质组织　（×500）（续四）

4　评级图的应用

4.1　评级图中各类金相组织的合格级别由供需双方协商确定。没有约定的以1~4级为合格。

4.2　如果在评级时有争议，可以参考力学性能检验结果进行判定。

5　试样的选取与制备

5.1　取样部位的确定

应由供需双方协商确定，没有约定的以锻件有效厚度处作为取样部位。表明取样部位的示例参见附录A（资料性附录）。

5.2　试样的制取

一般应根据供需双方的技术协议，没有协议的根据以下原则确定。

5.2.1　当锻件取样部位有效厚度≤20mm时，以二分之一处作为检验部位制取。

5.2.2　当锻件取样部位有效厚度>20mm时，以距表面10mm处作为检验部位制取。

5.3　制取试样的方法

5.3.1　试样应在冷态下用机械方法制取。若用热切等方法切取时，必须将热影响区完全去除。

5.3.2　在制取样品过程中，不能出现因受热而导致组织改变的现象。

5.3.3　试样抛光后用含有体积百分数为2%~5%的硝酸酒精溶液浸蚀。

6　金相组织的评定

6.1　金相组织按1~8级评定。当被评定的金相组织介于两个级别之间时，以下一级为判定级别，例如大于3级小于4级则判为4级。

6.2　正火锻件、等温正火处理锻件、锻后控冷锻件的金相组织在金相显微镜下用100倍观察，但必须结合高倍观察以确定相结构，参照评级图1或评级图2评定。

6.3　调质锻件的金相组织在金相显微镜下用500倍观察，参照评级图2评定。

附　录　A
（资料性附录）
锻件金相组织评级图示例

表　A.1

××厂	锻件金相组织评级图	零件号	3509018-01
		零件名称	曲轴—空气压缩机

钢　　号	45 GB/T 699		共1页	取样部位及评级要求
毛坯尺寸	ϕ45×520/2		第1页	
主要生产工序				
下　　料：预热剪切				
锻造加热：1 220～1 240℃				
模　　锻：2t 锤模锻，热切边				
正火				
正火温度	870～890℃	冷却介质	空　　气	
正火硬度	163～197 HBW			
（压痕直径4.3～4.7mm）				
备注：				检验标准：GB/T 13320—2007 第一组评级图（图1）
				组织级别：1～4级

拟订：	校对：	审核：	批准：

表　A. 2

××厂	锻件金相组织评级图			零件号	1701221-01
				零件名称	第四速齿轮—中间轴
钢　　号	20CrMnTi GB/T 5216		共 1 页	取　样　部　位　及　评　级　要　求	
毛坯尺寸	ϕ75×253		第 1 页		
主要生产工序					
下　　料：预热剪切					
锻造加热：1 230～1 260℃					
模　　锻：2t 锤模锻，热切边					
正火					
正火温度	950～970℃	冷却介质	流动空气		
正火硬度	156～207 HBW				
（压痕直径 4. 2～4. 8mm）					
备注：				检验标准：GB/T 13320—2007 第二组评级图（图 2）	
				组织级别：1～4 级	
拟订：		校对：		审核：	批准：

表　A. 3

××厂	锻件金相组织评级图			零件号	2402066-01
				零件名称	突缘—主动锥齿轮
钢　　号	45　GB/T 699		共 1 页	取　样　部　位　及　评　级　要　求	
毛坯尺寸	ϕ65×131		第 1 页		
主要生产工序					
下　　料：预热剪切					
锻造加热：1 220～1 240℃					
模　　锻：20 000kN 锻压机模锻，热切边					
调质					
淬火温度	800～820℃	冷却介质	25～30℃水		
淬火硬度	362～505HBW				
回火温度	610～650℃	冷却介质	空　　气		
回火硬度	207～254HBW				
（压痕直径 3. 8～4. 2mm）				检验标准：GB/T 13320—2007 第三组评级图（图 3）	
备注：				组织级别：1～4 级	
拟订：		校对：		审核：	批准：

表 A.4

××厂	锻件金相组织评级图			零件号	3001022-01
				零件名称	右 转 向 节
钢 号	40MnB GB/T 5216		共1页	取 样 部 位 及 评 级 要 求	
毛坯尺寸	方155×216		第1页		
主要生产工序					
下 料：预热剪切					
锻造加热：1 220～1 240℃					
模 锻：3t、5t锤联合模锻，热切边					
调质					
淬火温度	800～820℃	冷却介质	70～75℃水		
淬火硬度	362～505HBW				
回火温度	580～620℃	冷却介质	水		
回火硬度	241～285HBW				
（压痕直径3.6～3.9mm）					
备注：				检验标准：GB/T 13320—2007 第三组评级图（图3）	
				组织级别：1～4级	
拟定：		校对：		审核：	批准：

第二十六节 定量金相测定方法

一、概论

过去评定金相组织中的物相含量，大多依据一套对应系列图片，采用目测比较的方法。这种传统的测定方法误差范围较大，通常在5%以上，有的甚至高达10%，且一种合金一套标准图片，比较麻烦。特别是对于物相含量有明确界限要求的金属产品，极易产生误判的现象，导致不必要的经济损失。因此，寻求一种统一、简捷、相对准确的测定方法，满足科研、生产的需要，便是我们编制本标准的主要目的。

1995年制定了GB/T 15749—1995《定量金相手工测定方法》，实施后在科研和生产中得到了广泛应用，为物相含量的手工测定提供了具体的操作方法。但该标准所提供的方法都是手工测定方法，而在调研过程中发现由于某些手工方法操作较为繁琐，从而导致实际使用率很低；随着图像分析仪的逐渐普及，这种自动化程度极高的测定方法必将成为一种新的定量金相测定方法。因此，在对GB/T 15749—1995进行修订时增加了图像分析仪测定法，以使修订后的GB/T 15749—2008《定量金相测定方法》更易推广和操作，满足更广泛的需求。在对标准进行修订时还对物相形态进行了重新分类，并对每类形态所适用的测定方法进行了验证，使修订后的标准内容更加严谨、准确。

二、标准应用说明

1. 定量金相测定原理

定量金相学建立在体视学基础上，体视学是由二维截面或投影面上的图像特征参数复原（或推证）三维空间图像形貌的科学。体视学中的基本公式，即定量金相学中最重要、最常用的计算公式为

$$V_V = A_A = L_L = P_P \tag{4.26-1}$$

式中　V_V——待测物相的体积分数，$V_V = V_{phase}/V_{total}$；

A_A——待测物相的面积分数，$A_A = A_{phase}/A_{total}$；

L_L——待测物相的线分数，$L_L = L_{phase}/L_{total}$；

P_P——待测物相的点分数，$P_P = P_{phase}/P_{total}$；

V_{phase}，A_{phase}——待测物相的体积和面积；

L_{phase}，P_{phase}——待测物相所包含的线段长度和阵点个数；

V_{total}，A_{total}——总体积和总面积；

L_{total}，P_{total}——线段总长度和阵点总个数。

实际工作中，V_V 值是最终要获得的数据，但无法直接进行测量计算，需要根据 $V_V = A_A = L_L = P_P$ 的互等关系，先求出面积、线或点分数后再间接求算出 V_V 值。

图 4.26-1 是描述公式 $A_A = L_L = P_P$ 意义的示意图。图中的小正方形是任意分布的，其面积为总面积的 20%，即 $A_A = 20\%$。小正方形内所包含的网格线段长度占网格线段总长度的百分数 L_L 与小正方形内所包含的网格阵点个数占网格阵点总个数的百分数 P_P 也都近似等于 20%。

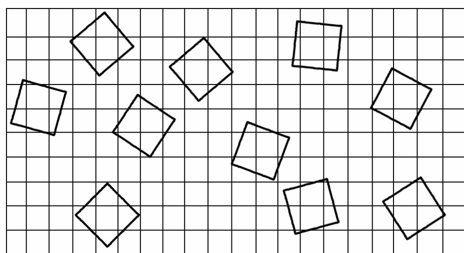


图 4.26-1　公式 $A_A = L_L = P_P$ 的描述示意图

2. 定量金相测定方法

该次标准修订将原标准 GB/T 15749—1995 中的显微镜目镜刻度测定法，更名为显微镜测微目镜测定法，并将其使用范围进行扩展，即在图像上（代替显微镜中的视场）直接画出多角度的线段或使用特制的多角度线段工具（代替旋转的测微目镜）进行测量，扩展后的方法命名为线段刻度测定法。这两种方法其实都是网格截线法的简化和变通，其目的是使操作更为方便快捷，可操作性更强。另外在标准修订时还增加了一种自动化测定方法——图像分析仪测定法。因此，GB/T 15749—2008 中的定量金相测定法有网格数点法、网格截线法、显微镜测微目镜测定法、线段刻度测定法以及图像分析仪测定法，共 5 种。

网格数点法和网格截线法的操作方法见图 4.26-1。显微镜测微目镜测定法是采用带刻度的可旋转的显微镜目镜直接在显微镜视场中对物相含量进行测定。当测量线段与待测物相边界重合时，以重合线段的 1/2 计算。待测物相的线分数 L_L 按下式计算：

$$L_L = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8}{8L_{total}} \times 100\% \tag{4.26-2}$$

线段刻度测定法与显微镜测微目镜测定法线段刻度的测定方法实质相同。图像分析仪测定法是使用图像分析软件自动测定，首先在软件中打开待测图像，通过阈值分割提取待测物相，然后自动测量待测物相的含量。

3. 图像分析仪测定法原理

图像分析仪测定法具有自动化程度高、测量速度快、重现性强及数据精确度高等特点。其测定原理是：光学显微镜下观察到的图像是光学图像，它在空间和亮度上都是连续的，这样的图像不能使用计算机进行处理，必须将其转换成空间和亮度都是离散的图像，即数字图像。通过数码摄像头可将光学显微镜下的光学图像转换成计算机屏幕上的数字图像。一幅数字图像就像一张网格，每个网格称为一个像素，每个像素都有对应的坐标和自己的数值，称为像素值，像素值由该点的亮度决定。

8 位灰度图像的像素值范围为 0～255，0 代表纯黑色，255 代表纯白色，其余数值则代表介于黑白两色之间的灰色。图像分析仪测定法就是根据组成物相间不同的灰度进行的，将某一灰度或某一灰度范围的待测物相提取出来，提取到的物相像素个数占总像素个数的百分数即为待测物相的面积分数。

若图像为真彩色图像，可以先使彩色图像灰度化，将真彩色图像变换为 8 位灰度图像，再按上述方法提取物相；也可以直接对真彩色图像提取物相，与灰度图像不同的是，真彩色图像需要对红、绿、蓝三个信道分别进行提取。

4. 测定技术要求

（1）各种测定方法的适用范围。考虑到物相形态对测定结果的影响，对于常见的三种物相形态即等轴状（如正火钢中的珠光体）、条带状（如灰铸铁中的片状 A 型石墨）及不规则状分别进行了试验验证，结果表明网格数点法仅适用于形态近似等轴状物相含量的测定。而网格截线法、显微镜测微目镜测定法和线段刻度测定法对这三种形态的物相含量均可进行测定。图像分析仪测定法中的提取物相就像面积称重法中的剪刻物相一样，非常直观明了，所以对物相形态没有要求，只要待测物相衬度明显且轮廓线清晰即可。

（2）放大倍数的选择。放大倍数的选择应以清晰地分辨待测物相为准，在此基础上可以选择较低的放大倍数，因为测定的视场面积一定，放大倍数为原来的 2 倍时，测定视场数则需要为原来的 4 倍，这样就大大降低了工作效率。同时随着放大倍数的增加，各个视场测定值的变化率也会增加，使数据的分散程度增大。在网格数点法和网格截线法中应保证网格间距与待测物相间的距离接近；在显微镜测微目镜测定法和线段刻度测定法中还应控制绝大部分待测物相的最小截距不小于测量工具的最小刻度。

（3）测定角度的选择。验证试验结果表明，显微镜目镜刻度测定法与线段刻度测定法对于任何一种形态的物相都应选择 8 个角度进行测定，并求出平均值。

（4）测定视场数的选择。在定量金相测定中常希望在尽可能少的测定视场下获得可靠的测定结果，以提高工作效率。但由于不同材料待测物相参数（如均匀程度、质点大下等）的不同，在实际测定时往往难以做到这一点。在实际操作中，当待测物相分布较均匀时，在兼顾测定精度和效率的基础上，选择测定五个视场数且视场间应避免重叠；当待测物相分布不是很均匀时，视场数的选择要考虑到待测物相多寡分布的特征；但当待测物相分布特别不均匀时，则应在测定结果中给出平均含量、最高含量和最低含量，并注以说明。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（GB/T 15749—2008）

定量金相测定方法

1 范围

本标准规定了用网格数点法、网格截线法、显微镜测微目镜测定法、线段刻度测定法及图像分

析仪测定法测定物相体积百分数的方法。

本标准适用于各类合金显微组织中物相体积百分数的测定。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本. 凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

3　术语、定义和符号

3.1　术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1　体视学　stereology

由二维截面或投影面上的图像特征参数复原（或推证）三维空间图像形貌的科学。

3.1.2　定量金相　quantitative metallography

根据体视学原理，由金相试样磨面上测量和计算出的二维参量来确定三维空间中物相体积百分数。

3.1.3　阈值分割　threshold division

根据临界值把图像转换为只有两种颜色的二值图像。

3.2　符号

下列符号适用于本标准

A_A——待测物相面积分数（%）；

L——某角度测量线段长，单位为毫米（mm）；

L_L——待测物相线分数（%）；

$L_1 \sim L_8$——某角度的测量线段被物相所截割的线段长，单位为毫米（mm）

P_P——待测物相点分数（%）；

V_v——待测物相体积分数（%）。

4　测定方法

4.1　总则

4.1.1　体视学互换公式见公式（1）。

$$V_V = A_A = L_L = P_P \tag{1}$$

4.1.2　试样的切取和制备按 GB/T 13298 的有关规定进行。

4.1.3　放大倍数的选择应以清晰地分辨待测物相的形貌和边界为准，在此基础上，选择较低倍数。

4.1.4　测量时应选择具有代表性的视场。测量视场数取决于待测物相均匀性，一般不少于五个视场并应避免视场间的重叠，取平均值作为测量结果。

4.1.5　物相含量的计算结果应至少保留小数点后一位。

4.1.6　物相常见形态为：近似等轴状、条带状及不规则状，参见附录 A。

4.1.7　网格数点法仅适用于形态近似等轴状物相的含量测定，其他方法适用于所有形态物相的含量测定。

4.2　网格数点法

4.2.1　采用网格数点法对物相进行测量，网格间距与待测物相间的距离接近，参见图 B.1。

4.2.2　将网格覆盖在待测图像上，数出落在待测物相上的格点数。待测物相边界上的格点，以 1/

2 点计算。

4.2.3 点百分数 P_P 为落在待测物相上的格点数与网格总格点数的百分比，按公式（1）计算待测物相体积百分数 V_V。

4.3 网格截线法

4.3.1 采用网格截线法对物相进行测量，网格间板与待测物相间的距离接近，参见图 B.1。

4.3.2 放大倍数在满足 4.1.3 时，还应保证在此放大倍数下绝大多数待测物相的最小截距不小于测量网格的最小刻度（1mm）。

4.3.3 将网格覆盖在待测图像上，测出落在待测物相上的线段长，当测量线段与待测物相边界重合时，以重合线段的 1/2 计算。

4.3.4 线百分数 L_L 为落在待测物相上的线段长与网格总线段长的百分比，按公式（1）计算待测物相体积百分数 V_V。

4.4 显微镜测微目镜测定法

4.4.1 采用可旋转的显微镜测微目镜直接在显微镜视场中对物相进行测量，参见图 B.2。

4.4.2 放大倍数满足 4.1.3 时，还应保证在此放大倍数下绝大多数被测物相的最小截距不小于显微镜测微目镜最小刻度（1mm）。

4.4.3 对于所有形态的待测物相，都需测量近似等分的八个角度上的待测物相所截割的线段长。当测量线段与待测物相边界重合时，以重合线段的 1/2 计算。

4.4.4 按公式（2）计算线百分数 L_L，再按公式（1）计算，待测物相体积百分数 V_V。

$$L_L = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8}{8 \times L} \times 100 \tag{2}$$

4.5 线段刻度测定法

4.5.1 在待测图像上画出最小刻度为 1mm 的多角度线段或采用最小刻度为 1mm 的多角度线段工具对物相进行测量，参见图 B.3。

4.5.2 放大倍数在满足 4.1.3 时，还应保证在此放大倍数下绝大多数待测物相的最小截距不小于测量工具最小刻度（1mm）。然后按 4.4.3、4.4.4 进行测定。

4.6 图像分析仪测定法

4.6.1 采用可实现自动化的图像分析仪对物相进行测量。

4.6.2 侵蚀试样要求待测物相衬度明显且轮廓线清晰。

4.6.3 测量步骤如下：

a）在图像分析软件中打开待测图像。

b）加载标尺。

c）若图像为灰度图像，直接进行阈值分割提取待测物相；若图像为真彩色图像，可直接进行阈值分割提取待测物相，也可将图像彩色灰度化后进行阈值分割提取待测物相。

d）自动测量待测物相面积百分数 A_A，按公式（1）计算待测物相体积百分数 V_V。

5 试验报告

试验报告一般包括下列内容：

a）材料名称、牌号、规格、批号、编号、热处理状态及检验项目；

b）所采用的标准号；

c）使用仪器的型号及编号；

d）侵蚀剂、放大倍数及检测结果；

e）报告日期及报告编号；

f）检测人员与审核人员签字。

附　录　A
（资料性附录）
物相形态参考图

A. 1　近似等轴状待测物相（黑色）见图 A. 1、图 A. 2。

A. 2　条带状待测物相（黑色）见图 A. 3、图 A. 4。

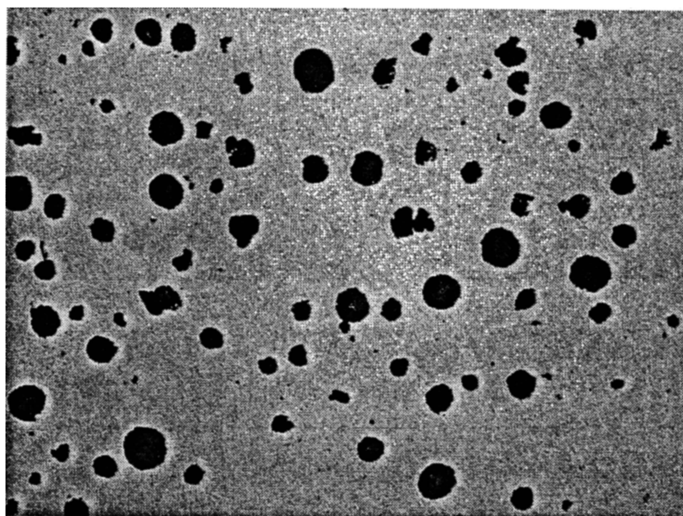


图 A. 1　球墨铸铁中球状石墨（×100）

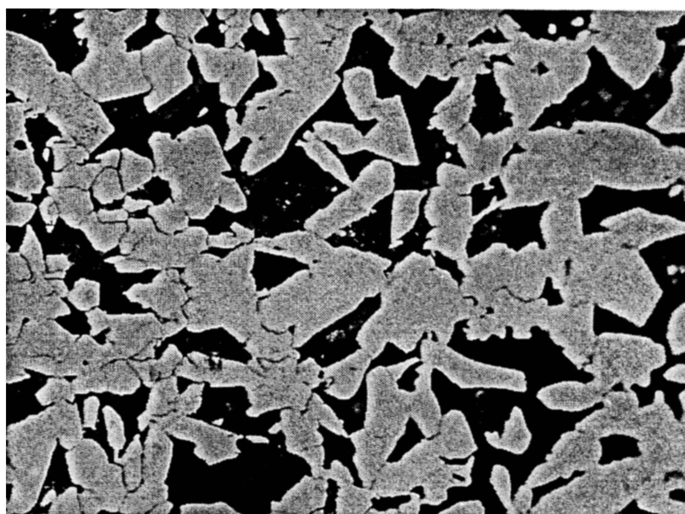


图 A. 2　正火钢中珠光体（×200）



图 A.3　灰铸铁中条状 A 型石墨（×500）

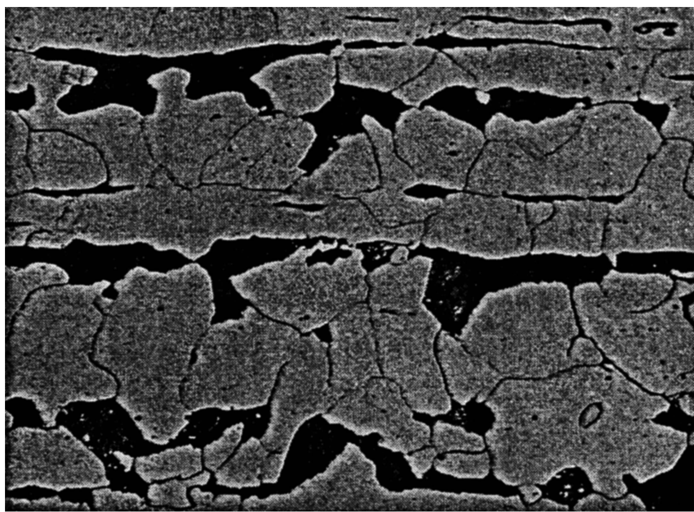


图 A.4　轧制钢中带状珠光体（×500）

A. 3　不规则状待测物相（黑色）见图 A. 5、图 A. 6。

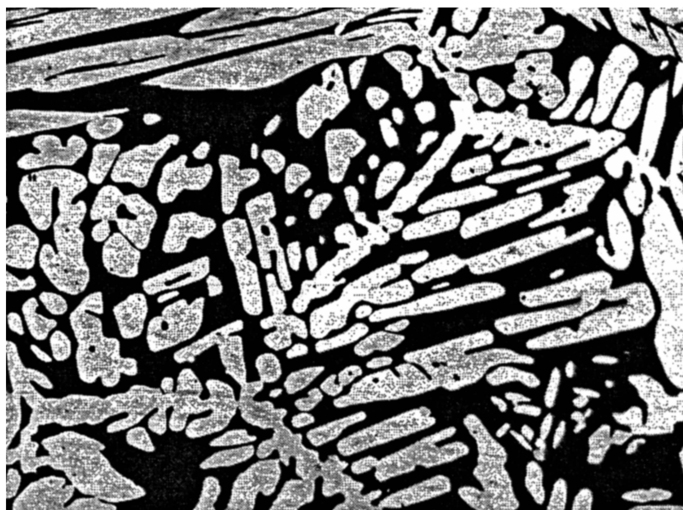


图 A. 5　（铁素体 + 奥氏体）双相不锈钢中铁素体（×200）



图 A. 6　（铁素体 + 奥氏体）双相不锈钢中铁素体（×200）

附　录　B

（资料性附录）

测量参考图

B. 1　网格数点法及网格截线法见图 B. 1。

B. 2　显微镜测微目镜测定法见图 B. 2。

B. 3　线段刻度测定法见图 B. 3。

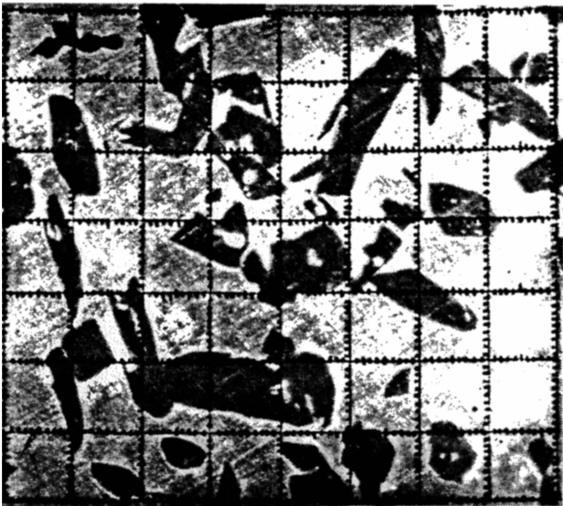


图 B. 1　网格数点法及网格截线法测量

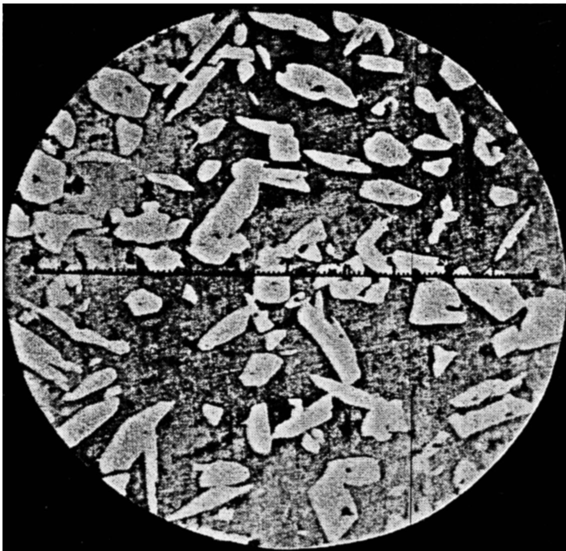


图 B. 2　某角度的测微目镜测量

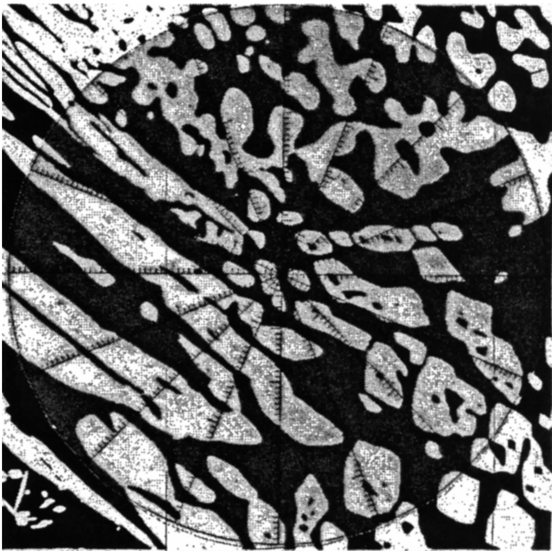


图 B. 3　多角度线段工具测量

第五章　材料热处理标准

第一节　不锈钢和耐热钢热处理

一、概论

1. 本标准的重要性和必要性

不锈钢是耐蚀钢和耐酸钢的统称。耐蚀钢是指在空气、水、盐的水溶液、某些酸以及腐蚀介质中具有抗腐蚀能力（高度化学稳定性）的钢种，在强烈腐蚀介质中仍有抗腐蚀能力的耐蚀钢也可称为耐酸钢。耐热钢是指具有较好的热稳定性和热强度的钢种。

近年来，装备制造业有了较大的发展，不锈钢和耐热钢在各工业领域内的应用也越来越广泛。《不锈钢和耐热钢热处理》标准的制定，对提高产品质量，延长使用寿命，适应国际贸易交往、技术交流和合作，具有很大的推动作用和实际使用价值。

我国热处理技术有了进步和发展，在热处理工艺及设备方面，发展了真空热处理、可控气氛热处理和保护涂料热处理等无氧化或少氧化热处理工艺。在质量控制方面，开展了炉温均匀性测量，提高了炉温精度，对热处理工艺材料明确了要求。制定了热处理质量控制标准。我国科研和生产实践中积累了一些不锈钢和耐热钢的热处理经验，做了一些比较深入的研究工作。此外，随着对外开放深入发展，使我们能更多地了解到国外热处理工艺技术及其相应的标准，开阔了我们的眼界。具备了制订不锈钢和耐热钢热处理标准的良好基础和条件。

2. 国内外相关标准情况

由于不锈钢和耐热钢对装备制造业的重要性，国外先进工业化国家都对不锈钢和耐热钢热处理制定了相应的标准，而且分类都比较细，主要有：

美国军标　MIL-H-6875H《钢的热处理》

美国宇航材料规范　AMS 2759《钢零件热处理的一般要求》

AMS 2759/3B《沉淀硬化不锈钢和马氏体时效钢零件的热处理》

AMS 2759/4B《奥氏体不锈钢零件的热处理》

美国波音公司标准　BAC 5619《耐蚀钢的热处理》

美国麦道公司标准　DPS 5. 00《钢的热处理—总论》

DPS 5. 00-2《沉淀硬化不锈钢的热处理》

DPS 5. 00-7《应变强化不锈钢的热处理》

DPS 5. 00-10《钢的热处理—马氏体不锈钢》

俄罗斯航空生产说明书　ПИ1. 2. 352—1987《飞机、发动机和附件制造用的结构钢与耐蚀钢零件及组合件的热处理》

俄罗斯航材院说明书　No710-1958《航空发动机及附件制造业所用结构钢不锈钢和耐热钢的热处理》

No594-1956《不锈钢、耐热钢及耐热合金半成品及零件的热处理》

我国 HB/Z 80—1984《航空用不锈钢和耐热钢热处理说明书》是在 1979—1984 年期间编写的，

是在总结航空不锈钢、耐热钢生产经验和科研成果基础上，参考No710-1958、No594-1956 及其他国外相关标准而制定。1997 年进行了修订，形成了 HB/Z 80—1997 版本。我国机械工业标准 ZB J 36 017—1990 是参考我国航标和国外相关标准制定的，以后又经过修订，分别形成 JB/T 9197—1999、JB/T 9197—2008 版本。

二、标准应用说明

1. 标准编制原则

本标准规定的内容是对各部门进行不锈钢和耐热钢热处理时所应遵守的普遍要求，而不是针对某一个工厂或某种产品。因此，在编制本标准时，确定以下几方面的原则：

（1）标准的完整性。本标准包括主题内容与适用范围、引用标准、热处理类别、不锈钢和耐热钢的分类及热处理、设备控制、工艺控制、热处理规范、质量控制和安全技术，使本标准比较系统和全面。

（2）标准的实用性。本标准所规定的各项条文，尤其是热处理设备和控制仪表精度部分，不但要保证不锈钢、耐热制件的热处理质量，使本标准达到国内先进水平，而且还要照顾到国内各部门现有设备的实际状况，使本标准在贯彻执行过程中具有很好的实用性。

（3）标准的全面性。本标准作为专用标准适用范围较广，这就要满足各部门对不锈钢、耐热钢制件进行热处理后所要求的物理性能和力学性能。因此，在编制本标准时要尽量全面地收集不锈钢、耐热钢牌号和热处理工艺规范，并纳入标准，以满足各部门的需要，使本标准具有全面性。

（4）标准的先进性。本标准在编写时，以航空工业标准为基础，参考国军标和国外有关的比较先进的标准及规范所规定的具体内容和要求，补充和完善本标准，使本标准在国内具有先进性。

2. 标准条文规定的依据或来源

本标准以 HB/Z 80—1997《航空用不锈钢、耐热钢热处理说明书》为基础，结合各有关部门工艺和生产情况进行补充和完善后编制的，标准的有关部分或条文说明如下：

（1）本标准中出现的各种热处理术语以 GB/T 7232《金属热处理工艺　术语》为标准，凡是在 GB/T 7232 中已经定义的术语，在本标准中一律不重新定义，只对没有定义过的术语进行说明或定义，如热处理不可强化的钢、热处理可强化的钢及调整热处理。

（2）本标准的表 2“加热炉的分类及技术要求”，按 GJB 509《航空制件热处理质控制标准》的规定和要求进行制定，这样即体现出本标准的先进性，推动我国热处理技术的发展，又体现本标准的普遍性，具有很大的使用价值。

（3）条件厚度为实际厚度乘以制件形状系数。制件形状系数根据制件在热处理过程中的受热状态，分为四类：①球及正方体的形状系数为 0.75；②圆棒及方棒的形状系数为 1.00；③板的形状系数根据板的厚度和宽度的不同，其形状系数为 1.50～2.00；④管的形状系数根据管的长短及开口或封闭，其形状系数为 2.00～4.00。详见本标准的表 5。

（4）本标准的表 6“不完全退火、去应力退火或高温回火及正火的热处理规范”及表 7“淬火或固溶处理、回火或时效的热处理规范”，其中的抗拉强度、布氏硬度值，以 HB/Z 80—1997 为基础，对表中数据不全的部分，因缺乏工厂的积累数据，又没有做验证试验，只能暂时先空着，待以后修改本标准时，再根据各有关单位所积累数据，进行补充和完善。

（5）本标准注意强调质量控制，首先从设备开始就提出比较严格的要求，并对加热、冷却、清理等热处理工艺做了明确详细地规定。这对提高热处理的技术水平，促进设备更新改造，保证产品质量，都具有很大的推动作用。（北京航空材料研究院王广生、董云国供稿）

三、标准内容（JB/T 9197—2008）

不锈钢和耐热钢热处理

1　范围

本标准规定了不锈钢和耐热钢热处理的方法及所用的设备、工艺、工艺材料、质量检验和安全技术。

本标准适用于不锈钢和耐热钢热处理。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 221　钢铁产品牌号表示方法

GB/T 394.1　工业酒精

GB 443　L-AN 全损耗系统用油

GB 536　液体无水铵（GB 536—1988，neq ГОСТ6221：1982）

GB/T 1220　不锈钢棒

GB/T 1221　耐热钢棒

GB 3101　有关量、单位和符号的一般原则（GB 3101—1993，eqv ISO 31-0：1992）

GB/T 3634.1　氢气　第 1 部分：工业氢

GB/T 4237　不锈钢热轧钢板和钢带

GB/T 4238　耐热钢板和钢带

GB/T 4842　氩

GB/T 7232　金属热处理工艺　术语

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

JB/T 9202　热处理用盐

JB/T 10175　热处理质量控制要求

JB/T 10457　液态淬火冷却设备技术条件

3　术语和定义

GB/T 7232 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　热处理不可强化的钢　non hardening steel by heat treatment

不能用热处理的方法改变组织结构进行强化的钢。

3.2　热处理可强化的钢　hardening steel by heat treatment

可以用热处理方法改变组织结构进行强化的钢。

3.3　调整热处理　adjusting solution treatment

为改变沉淀硬化型不锈钢的马氏体转变点所进行的固溶处理。

4　不锈钢和耐热钢分类

4.1　不锈钢和耐热钢牌号表示方法和化学成分，应符合 GB/T 221、GB/T 1220、GB/T 1221、GB 3101、GB/T 4237 和 GB/T 4238 的规定。

4.2　不锈钢和耐热钢按热处理分为热处理不可强化的钢和热处理可强化的钢，常用钢号见表 1。

表 1 常用的不锈钢和耐热钢的钢号

热处理不可强化的钢	热处理可强化的钢	热处理不可强化的钢	热处理可强化的钢
0Cr18Ni9	1Cr13，2Cr13，3Cr13	2Cr18Ni8W2	4Cr10Si2Mo
1Cr18Ni9	4Cr13	1Cr21Ni5Ti	1Cr14Ni3W2VB
2Cr18Ni9	2Cr13Ni2，9Cr18	1Cr18Mn8Ni5N	0Cr17Ni7Al
1Cr18Ni9Ti	9Cr18MoV，2Cr3WMoV	1Cr19Ni11Si2AlTi	0Cr17Ni4Cu4Nd
2Cr13Ni4Mn9	1Cr11Ni2W2MoV	1Cr14Mn14Ni	0Cr15Ni7Mo2Al
1Cr23Ni18	1Cr12Ni2WMoVNb	1Cr14Mn14Ni3Ti	3Cr13Mo
4Cr14Ni14W2Mo	3Cr13Ni7Si2		

5 热处理方法选择

5.1 热处理不可强化的不锈钢和耐热钢

5.1.1 要求提高抗腐蚀性能和抗塑性、消除冷作硬化的工件，应进行固溶处理。

5.1.2 对于形状复杂不宜固溶处理的工件，可进行去应力退火。

5.1.3 含钛或铌的不锈钢，为了获得稳定的抗腐蚀性能，可进行稳定化退火。

5.2 热处理可强化的不锈钢和耐热钢

5.2.1 要求提高强度、硬度和抗腐蚀性能的工件，应进行淬火加低温回火处理。

5.2.2 要求较高的强度和弹性极限、而对抗腐蚀性要求不高的工件，应进行淬火加中温回火处理。

5.2.3 要求得到良好的力学性能和一定的抗腐蚀性能的工件，应进行淬火加高温回火处理。

5.2.4 要求消除加工应力、降低硬度和提高塑性的工件，可进行退火处理。

5.2.5 要求改善原始组织的工件，可进行正火加高温回火的预备热处理。

5.2.6 要求得到良好的力学性能和抗腐蚀性能的沉淀硬化型不锈钢工件，可进行固溶加时效，固溶加深冷处理或冷变形加时效等调整处理。

5.3 焊接组合件

5.3.1 由热处理可强化的不锈钢和耐热钢构成的焊接组合件，根据工件图样的要求，可进行淬火加回火或去应力退火。

5.3.2 由热处理不可强化的不锈钢和耐热钢构成的焊接组合件，要求改善焊缝区域组织和抗腐蚀性能以及较充分地消除应力时，可进行固溶处理。对于形状复杂不宜进行固溶处理的焊接组合件，可采用去应力退火。

5.3.3 由热处理可强化与不可强化的不锈钢和耐热钢构成的焊接组合件，当要求以抗腐蚀性能为主时，应变进行固溶处理加低温回火；当要求以力学性能为主时，应进行淬火加低温回火或中温回火处理。对于形状复杂的焊接组合件，可进行去应力退火或高温回火。

6 设备

6.1 加热设备

6.1.1 不锈钢和耐热钢工件可以用空气电阻炉、盐浴炉、保持气氛炉、直空炉等加热。对于具有成品尺寸的工件、薄壁工件、螺栓等，一般应在保护气氛炉、真空炉中加热，也可以用涂料保护在空气电阻炉中加热。各种加热设备应符合 JB/T 10175 的规定。

6.1.2 各类加热设备应具备能自动调节、记录和超温报警的温度控制装置。

6.1.3 加热炉的分类及技术要求，应符合表 2 中Ⅲ ~ Ⅳ设备的规定。

6.1.4 加热炉有效加热区的测定方法、检验周期及检定设备的技术要求，按 GB/T 9452 的规定执行。

表 2　加热炉的分类及技术要求

设备类型	有效加热区的温度的极限偏差/℃	控温精度/℃	仪表精度等级(不低于)	记录纸读数/(℃/mm)
Ⅰ	±3	±1	0.25	≤2
Ⅱ	±5	±1.5	0.3	≤4
Ⅲ	±10	±5	0.5	≤5
Ⅳ	±15	±8		≤6
Ⅴ	±20	±10		≤8
Ⅵ	±25			≤10

6.1.5　保护气氛加热炉中的保护气氛应能调节和控制。保护气不能直接冲击工件。

6.1.6　真空热处理炉的压升率，在真空度高于 0.13Pa 的状态下，应小于 1.33Pa/h；炉内真空度和气氛应能根据热处理工艺的要求进行调节。

6.2　冷却设备

6.2.1　淬火槽的容积应保证在连续生产的条件下具有足够的冷却能力，并应备有槽盖。

6.2.2　淬火槽应具有冷却循环系统搅拌装置，必要时应具备加热装置，但不推荐用压缩空气搅拌。

6.2.3　在淬火槽内安装感温元件，其测温仪表的分辨力小于或等于 5℃。

6.2.4　按 JB/T 10175 的要求，淬火油槽的油温应保持在 10～100℃之间。除非另有规定，淬火水槽的水温应保持在 10～40℃之间。

6.2.5　盐浴加热用淬火槽用水应定期更换。

6.2.6　液态淬火冷却设备其他技术条件应符合 JB/T 10457 的规定。

6.3　清洗设备

6.3.1　洗涤槽或洗涤机应能满足工件洗涤质量的要求。

6.3.2　采用氯溶剂或对环境产生污染的其他化学溶剂洗涤时，洗涤槽或洗涤机应具备抽风和排污装置。

7　工艺材料

7.1　常用的工艺材料的技术要求应符合表 3 的规定。

表 3　常用的工艺材料的技术要求

序号	名　称	技　术　条　件	用　途
1	氩气	GB/T 4842	保护加热和冷却
2	氮气	纯度≥99.995%，氧 $<15\times10^{-6}$，水 30×10^{-6}	
3	氢气		保护加热与氮气混合使用
4	氨	GB 536 1 级	保护加热
5	氯化钠	JB/T 9202	加热
6	氯化钾		
7	氯化钡		
8	酒精	GB/T 394.1	清洗
9	洗涤剂	—	
10	冷却油	GB 443 N15、N32	淬火、回火冷却
11	有机淬火剂	—	淬火

7.2　热处理保护涂料不应对工件产生不良影响，在热处理后应能很容易清除掉；交对环境不产生污染。

8　工艺过程

8.1　清洗

8.1.1　工件及夹具在热处理前均应清除油污、残盐、油漆等外来物。

8.1.2　在真空炉中首次使用的夹具，应预先在低于工件所要求的真空度下进行除气净化处理。

8.2　装炉

8.2.1　在热处理过程中容易产生畸变的工件，应在专用夹具上进行加热。

8.2.2　工件应置于有效加热区内。

8.3　预热

8.3.1　对于形状复杂或截面有急剧变化以及有效厚度较大的工件，应进行预热。

8.3.2　预热的方法有：

a）一次预热为800℃；

b）二次预热为500～650℃和850℃；

c）计算机限速升温。

8.4　加热

8.4.1　根据工件的材料及对表面质量的要求，应正确选用加热设备、加热介质和加热方法。

8.4.2　有凹槽、盲孔的工件，铸件和焊接件以及加工成形的不锈钢工件，一般不宜在盐浴中加热。

8.4.3　工件加热应有足够的保温时间。可根据工件的有效厚度和条件厚度（实际厚度乘以工件形状系数），参照表4和表5进行计算。

表4　保温时间的计算

<table>
<tr><td rowspan="3">加热设备</td><td colspan="3">工　件　厚　度　δ</td></tr>
<tr><td colspan="2">正火、淬火或固溶</td><td>不完全退火，去应力退火或高温回火</td></tr>
<tr><td>钣金、焊接件</td><td>棒、锻件</td><td>钣金、焊接件、棒、锻件</td></tr>
<tr><td rowspan="2">空气电炉
（保护气氛炉）</td><td rowspan="2">（5min～10min）+（0.5min/mm～1min/mm）×δmm</td><td rowspan="2">（10min～30min）+（2min/mm～3min/mm）×δmm</td><td>>300℃，（60min～80min）+（1min/mm～3min/mm）×δmm</td></tr>
<tr><td>≤750℃，120min～180min</td></tr>
<tr><td>盐浴炉</td><td>（3min～5min）+（0.5min/mm～1min/mm）×δmm</td><td>（5min～10min）+（0.5min/mm～1min/mm）×δmm</td><td>（15min～20min）+（0.5min/mm～1min/mm）×δmm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">真空炉</td><td colspan="2">≤750℃（10min～15min）+（3min/mm～4min/mm）×δmm</td><td rowspan="2">（60min～80min）+（3min/mm～4min/mm）×δmm</td></tr>
<tr><td colspan="2">≤750℃（10min～15min）+（1min/mm～2min/mm）×δmm</td></tr>
</table>

注：1. 真空炉中加热时间计算公式系指内热式真空炉；外热式真空炉加热时间可适当延长。

2. 式中“δ”为工件有效厚度或条件厚度，单位为mm。

8.5　冷却

8.5.1　马氏体不锈钢和耐热钢工件空冷时，应散放在干燥处。

8.5.2　马氏体不锈钢和耐热钢淬火冷至室温后方可进行清洗、深冷处理或回火。

8.5.3　马氏体不锈钢和耐热钢工件淬火后应及时回火，时间间隔一般不宜超过4h；含碳量较低、形状简单的工件，不应超过16h。

表 5　工件形状系数

形　　状	系　　数
球　正方体	0.75
圆棒　方棒	1.00
a　b　板	$b \leqslant 2a$　1.50 $2a < b \leqslant 4a$：　1.75 $b > 4a$：　2.00
管	两端开口短管：≤2.00 一端封闭管：2.00～4.00 长管或两端封闭管：>4.00

8.5.4　由马氏体不锈钢和耐热钢组成的焊接组合件，焊接和其后的热处理之间的时间间隔不应超过4h。

8.6　清理

8.6.1　热处理后可根据工件要求和表面状况采用碱液、水溶性清洗剂、氯溶剂及喷砂、喷丸等方法进行清理。

8.6.2　不锈钢和耐热钢工件，尤其是焊接组合件，热处理后一般不宜采用酸洗的方法进行清理。

8.7　校正

8.7.1　工件应采用静负荷进行校正，一般不宜局部敲击。

8.7.2　马氏体不锈钢和耐热钢工件校正后，应在低于原回火温度的条件下进行去应力退火。

8.7.3　形状复杂或尺寸要求严格的工件在回火时，用定形夹具结合回火进行校正。

8.7.4　奥氏体不锈钢工件校正后，在300℃以下进行去应力退火。

9　热处理规范

不锈钢和耐热钢的热处理规范见表 6 和表 7。

表 6　不完全退火、去应力退火或高温回火及正火的热处理规范

组织类型	序号	钢　号	不完全退火			正　火			去应力退火或高温回火		
			加热温度/℃	冷却介质	硬度HBW	加热温度/℃	冷却介质	硬度HBW	加热温度/℃	冷却介质	硬度HBW
马氏体型	1	1Cr13	730～780 830～900	空气	≤229 ≤170	—	—	—	—	—	—
	2	2Cr13	870～900	炉冷	≤187				730～780	空气	≤229
	3	3Cr13			≤206						
	4	4Cr13			≤229						
	5	2Cr13Ni2	840～860		206～285						≤254
	6	1Cr17Ni2	—	—	—				670～690		≤285
	7	1Cr11Ni2W2MoV				900～1010	空冷		730～750		197～269
	8	1Cr12Ni2WMoVNb				— 1140～1160	— 空冷		680～720		229～320
	9	1Cr14Ni3W2VB				930～950			670～690		197～254
	10	9Cr18	880～920	炉冷	≤269	—	—		730～790		≤269
	11	9Cr13MoV			≤241						≤254
	12	3Cr13Ni7Si2	—	淬火并退火与回火：1040℃～1070℃，水冷，860℃～880℃，保温6h，随炉冷却至300℃后空冷，600℃～680℃空冷							—
	13	4Cr10Si2Mo	等温退火	退火：1000～1040℃，保温1h，随炉冷却至750℃，保温3h～4h，空冷							197～269
	14	2Cr3WMoV	—	—	—	1040～1060	空气	—	740～760	空气	187～269
	15	3Cr13Mo	870～900	炉冷	229	—	—		730～780		≤269

注：炉冷至600℃以下空冷。

表 7　淬火或固溶处理、回火或时效的热处理规范

组织类别	序号	钢　号	淬火或固溶处理		按强度选择的回火或时效规范			按硬度选择的回火或时效规范		
			加热温度/℃	冷却介质	抗拉强度/MPa	回火或时效温度①/℃	冷却介质	硬度HBW	回火或时效温度①/℃	冷却介质
马氏体型	1	1Cr13	1000～1050	油或空气	780～980	580～650	油或水	254～302	580～650	油或水
					880～1080	560～620		285～341	560～620	
					980～1180	550～580		354～362	550～580	
					1080～1270	520～560		341～388	520～560	
					>1270	<300	空气	>388	<300	空气

（续）

组织类别	序号	钢　号	淬火或固溶处理		按强度选择的回火或时效规范			按硬度选择的回火或时效规范		
			加热温度/℃	冷却介质	抗拉强度/MPa	回火或时效温度①/℃	冷却介质	硬度HBW	回火或时效温度①/℃	冷却介质
马氏体型	2	2Cr13	980～1050	油或空气	690～880	640～690	油或空气	229～269	650～690	油或空气
					880～1080	560～640		254～285	600～650	
					980～1180	540～590		285～341	570～600	
					1080～1270	520～560		341～388	540～570	
					1180～1370	500～540		388～445	510～540	
					＞1370	＜350	空气	＞445	＜350	
	3	3Cr13	980～1050	油或空气	880～1080	580～620	油或水	254～285	620～680	油或水
					980～1180	560～610		285～341	580～610	
					1080～1270	550～600		341～388	550～600	
					1180～1370	540～590		388～445	520～570	
					1270～1470	530～570		445～514	500～530	
					＞1470	＜350	空气	＞514	＜350	空气
	4	4Cr13	1000～1050	油或空气	980～1180	590～640	油或水	285～341	600～650	油或空气
					1080～1270	570～620		341～388	570～610	
					1180～1370	550～600		388～445	530～580	
					1270～1470	540～580		—	—	
					1370～1570	300～357		445～514	300～370	空气
					＞1570	＜350	空气	＞514	＜350	
	5	2Cr13Ni2	1000～1020	油或空气	880～1080	580～680	油或水	269～302	580～680	油或水
					980～1180	540～630		285～362	540～630	
					1080～1270	520～580		302～388	520～580	
					1180～1370	500～540		362～445	500～540	
			900～930		1370～1570	＜300	空气	≥44HRC	＜300	空气
	6	1Cr17Ni2	9500～1040	油	690～880	580～680	油或水	229～269	580～700	油或空气
					780～980	590～650		254～302	600～680	
					880～1080	540～600		285～341	520～580	
					980～1180	500～560		320～375	480～540	

（续）

组织类别	序号	钢　　号	淬火或固溶处理		按强度选择的回火或时效规范			按硬度选择的回火或时效规范		
			加热温度/℃	冷却介质	抗拉强度/MPa	回火或时效温度[1]/℃	冷却介质	硬度HBW	回火或时效温度[1]/℃	冷却介质
马氏体型	6	1Cr17Ni2	9500～1040	油	1080～1270	480～547	油或水	—	—	油或空气
					>1270	300～360	空气	>375	<350	空气
	7	1Cr11Ni2W2MoV	990～1010	油或空气	<880	680～740	空气	241～258	680～740	空气
					880～1080	640～680		269～320	650～710	
					>1080	550～590		311～388	550～590	
	8	1Cr12Ni2WMoVNb	1140～1160	油或空气	<880	680～740	空气	241～258	680～740	空气
					880～1080	640～680		269～320	650～710	
					>1080	570～600		320～401	570～600	
	9	1Cr14Ni3W2VB	1040～1060	油或空气	>930	600～680	空气	285～341	600～680	空气
					>1130	500～600		330～388	550～600	
	10	9Cr18[2]	1010～1070	油	—	—	—	50～55HRC	250～380	空气
								>55HRC	160～250	
	11	9Cr18MoV[2]	1050～1070	油	—	—	—	50～55HRC	260～320	空气
								>55HRC	160～250	
	12	3Cr13Ni7Si2[3]	790～810	油	—	—	—	341～401	—	—
	13	4Cr10Si2Mo	1010～1050	油或空气	—	—	—	302～341	700～760	空气
	14	2Cr3WMoV	1030～1080	油	>880	660～700		285～341	660～700	空气
奥氏体型	15	0Cr18Ni9	1050～1100	空气或水	—	—	—	—	—	—
	16	1Cr18Ni9	1050～1150	空气或水	—	—	—	—	—	—
	17	2Cr18Ni9	1100～1150	空气或水	—	—	—	—	—	—
	18	1Cr18Ni9Ti[4]	1050～1150	空气或水	—	—	—	—	—	—
	19	2Cr13Ni4Mn9	1120～1150	空气或水	—	—	—	—	—	—
	20	4Cr14Ni4W2Mo	1040～1060	水	—	—	—	197～285	620～680	空气
					—	—	—	179～285	810～830	
	21	2Cr18Ni8W2	1020～1060	水	—	—	—	≤276	640～660	空气
			—	—	—	—	—	234～276	810～830	
	22	1Cr21Ni5Ti	950～1050	空气或水	—	—	—	—	—	—
	23	1Cr18Mn8Ni5N	940～960	空气或水	—	—	—	—	—	—
			1060～1080							
	24	1Cr19Ni11Si4AlTi	980～1020	水	—	—	—	—	—	—
	25	1Cr14Mn14Ni	1000～1150	空气或水	—	—	—	—	—	—
	26	1Cr14Mn14Ni3Ti	1050～1100	空气或水	—	—	—	—	—	—
	27	1Cr23Ni8	1050～1150	空气或水	—	—	—	—	—	—

（续）

组织类别	序号	钢　　号	淬火或固溶处理		按强度选择的回火或时效规范			按硬度选择的回火或时效规范		
			加热温度/℃	冷却介质	抗拉强度/MPa	回火或时效温度①/℃	冷却介质	硬度HBW	回火或时效温度①/℃	冷却介质
沉淀硬化型	28	0Cr17Ni4Cu4Nb⑤	1030～1050	空气或水	>930	580～620	空气	30～35HRC	600～620	空气
					>980	550～580		35～40HRC	550～580	
					>1080	500～550		38～43HRC	500～550	
					>1180	480～500		41～45HRC	460～500	
	29	0Cr17Ni7Al⑥	Ⅰ:1050～1070	空气或水	—	—	—	—	—	—
			Ⅱ:		>1140	—	—	≥39HRC	—	—
			Ⅲ:		>1250	—	—	≥41HRC	—	—
	30	0Cr15Ni7Mo2Al⑥	Ⅰ:1050～1070	空气或水	—	—	—	—	—	—
			Ⅱ:		>1210	—	—	≥40HRC	—	—
			Ⅲ:		>1250	—	—	≥41HRC	—	—

① 在保证强度和硬度的前提下，回火温度可适当调整。
② 当采用上限淬火温度时，可进行深冷处理，并低温回火。
③ 可采用930～990℃淬火或850～900℃稳定化退火。
④ 淬火前应经1040～1070℃，水冷，860～880℃保温6h，随炉冷却至300℃空冷，600～680℃空冷。
⑤ 如工件要冷变形时，应适当提高固溶温度，进行调整处理，然后再进行回火处理。
⑥ Ⅰ处理后可进行冷变形。Ⅱ或Ⅲ为连续进行的热处理工艺：
Ⅱ1050～1070℃（空气或水）+760℃×90min（空气）+565℃回火×90min（空气）；
Ⅲ1050～1070℃（空气或水）+950℃×10min（空气）+深冷处理－70℃×8h，恢复至室温后再加热到510℃回火×（30～60min），空冷。

10　质量检验

10.1　在热处理过程中应检查工件的热处理工艺规范及有关质量控制的执行情况。

10.2　工件按相应技术文件规定的项目和要求进行检验。

10.3　当力学性能不合适时，可进行重复热处理。但重复淬火或固溶次数一般不超过两次。工件的补充回火不算作重复处理。

10.4　淬火状态或低温回火后的马氏体不锈钢和耐热钢工件，重复淬火前应进行预热、退火或高温回火。

10.5　热处理原始记录应妥善保存备用。

11　安全技术

工件热处理时，按GB 15735的规定执行。

第二节　高温合金热处理

一、概论

1. 本标准的重要性和必要性

高温合金，也称热强合金或超级合金，在航空航天、原子能、船舶、兵器、石油、化工、交

通、能源等行业中有广泛的应用。随着科学技术和生产水平的不断提高。对高温合金需求越来越多，要求越来越高，其作用越来越大。高温合金应用范围不断扩大，从军用到民用，涉及国民经济各个主要部门，用于各种机械的动力发动机、高温耐蚀机械及高温管路等关键部位，对机械产品性能提高起至关重要的作用。

为使高温合金零件获得最佳的综合性能，提高使用寿命和可靠性，热处理工艺优化选择和正确操作是非常重要的。本标准的编制，为各使用部门提供高温合金热处理生产提供指导性技术文件，提供合理制定工艺规程的技术依据，对稳定生产、提高质量、延长使用寿命、提高经济效益具有很大的推动作用；本标准对各行业选用性能更高的高温材料及其热处理工艺具有指导意义。

2. 国内外相关标准情况

目前世界各国为满足尖端技术和工业生产的需要，都各自发展了适合本国公司的高温合金体系和热处理工艺。为适应竞争形势，各国很少有统一的国家级高温合金热处理标准，而大都以产品为对象编制专用技术文件或公司标准。以美国为例，有 AMS 2774《变形镍基、钴基合金热处理》、AMS 2773《铸造镍基、钴基合金热处理》，还有波音公司标准 BAC 5616《镍基和钴基合金热处理》、麦道公司标准 DPS 6.30《镍基耐热合金的热处理》、普惠公司标准 PWA-11-81《热处理》、通用汽车公司标准 GE CFM56 等。这些标准内容主要包括适用范围、相关标准、材料和专用设备要求（工件清洗与保存、热处理介质、设备等）、工艺参数、质保条款等。

在我国，1989 年首先在应用高温合金最多的航空工业中，编制了航空标准 HB/Z 140—1989《航空用高温合金热处理工艺说明书》，把以前分散在 15～20 个高温合金材料或零件技术条件的内容综合起来了。2004 年经修订，形成 HB/Z 140—2004 版本。随着我国装备制造业发展，高温合金在机械工业中应用越来越多，1995 年制定了 JB/T 7712—1995。2007 年经过修订，形成 JB/T 7712—2007 版本。

国内外主要相关标准的主要指标及规定如表 5.2-1 所示。

表 5.2-1 国内外同类标准主要指标及规定

项目	本标准	HB/Z 140	美 BAC 5616	美 DPS 6.30	美 PWA-11-81	美 GE CFM 56 规定	法国 CCT LB 601
炉温均匀性	±10℃	±10℃	±14℃，±8.3℃	±14℃	固溶、退火±14℃，时效±8.3℃	±14℃	固溶±14℃，时效±5℃
加热保护	真空热处理保护气氛氩、氮基、放热式 保护涂料	真空热处理保护气氛（氩、氦、氢、氮） 保护涂料	保护气氛（氩、氦、氮、氢） 真空（0.133Pa）	保护气氛（氮、氢、氩、氦） 真空（0.667Pa） 保护涂料	保护气氛（氩、氢） 真空（2.666Pa）	保护气氛（氩、氢） 真空（0.133Pa）	保护气氛（氩、氢） 真空热处理
淬火冷却介质	水室温－40℃ 油 20～100℃ 空气（空冷、风冷或缓冷） 氩气、有机聚合物水溶液	水 10～35℃ 油 20～100℃ 空气（空冷或风冷、缓冷）	水≤38℃ 油 24～60℃ 空气 盐浴 177～204℃	空气（空冷或风冷） 水 24～60℃ 油 24～60℃	空冷或更快	空冷或更快	

（续）

项目	本标准	HB/Z 140	美 BAC 5616	美 DPS 6.30	美 PWA-11-81	美 GE CFM 56 规定	法国 CCT LB 601
提供热处理工艺参数的材料牌号	GH1015，GH1016 GH1035，GH1040 GH1131，GH1140 GH2018，GH2036 GH2038，GH2130 GH2132，GH2135 GH2302，GH761 GH901，GH903 GH3030，GH3039 GH3044，GH3128 GH4033，GH4037 GH4043，GH4049 GH4133，GH4133B GH4169，GH4099 GH4698，K211 K214，K401 K403，K406 K409，K412 K418 共 37 种	GH1015，GH1016 GH1131，GH1140 GH1334，GH2018 GH2132，GH2152 GH3030，GH3039 GH3044，GH3128 GH4099，GH4163 GH4169，GH1035 GH2036，GH2038 GH2130，GH2135 GH2302，GH4032 GH4033，GH4037 GH4043，GH4049 GH4133，GH4220 GH4698，K211 K214，K401 K403，K405 K406，K412 K417，K418 K419 共 39 种	Waspaloy Inconal 706 Inconel 718 Inconel X-750 Incoley 901 Inconel 625， 660，804 Udimet 500 Rene′41 Hastelloy X B，C N-155 L-605 Incoloy 907 共 16 种	Inconel 718 Inconel X-750 Rene′41 Hastelloy Inconel 718C Inconel 625， 660，804 MP35N MP159 共 10 种	Waspaloy Inconel 706 Inconel 718 Inconel X-750 共 4 种	Waspaloy Inconel 718 Rene′41 Rene′77 Hastelloy X Incoloy 907 共 6 种	NC15Fe NC20T NC20TA NC20KTA NCK20D NCK19DAT NCK18TDA NC20K14 NC19FeNb NC22FeD NC22DNb NC25D NCD15 NC18K15TDA KC20WN KCN22W KC25NW 共 17 种

本标准所列高温合金牌号主要是常用的铁基和镍基变形高温合金，以及铸造高温合金，共 31 种。另外，还补充增加了 GH4133B、GH901、GH761、GH903、GH4099、GH4698 6 种牌号，这些补充的合金均已通过国家鉴定，并已在航空发动机和地面涡轮机上得到了应用，有很好的应用前景。本标准所提供的热处理工艺参数的合金牌号达 37 种，与航空标准 HB/Z 140 相当，比美国、法国各主要公司标准都要多。在加热保护、炉温均匀性、淬火冷却介质等方面也提出了与国内外同类标准相当的要求。如表 5.2-1 所示。因此本标准反映了我国高温合金热处理的最先进水平，达到了当代国际水准，不但可以满足我国各行业生产的需要，而且对我国各行业的技术进步和发展有重要的促进作用和指导意义。

二、标准应用说明

1. 高温合金热处理类型

现代高温合金无论以何种元素为基体都是复杂的合金化系统，大多采用固溶强化、第二相强化和晶界强化 3 种手段对合金进行强化。掌握了高温合金的强化机理，有利于在现场执行热处理工艺制度时，针对不同形状零件控制产品热处理质量，是非常有益的。

高温合金采用的最基本热处理类型有扩散退火、再结晶退火、去应力退火、固溶处理、时效处理等，如表 5.2-2 所示。

固溶处理和时效处理是高温合金最基本的两种强化热处理方式，这两种热处理方式的配合作用可以得到各种组织状态和性能的组合，以满足零件的使用性能要求。

表 5.2-2 高温合金采用的最基本热处理类型

工艺名称	工艺曲线	工艺特点	目的	用途
扩散退火（均匀化退火）	温度 水冷 炉冷 O 时间	将工件加热到高温（如 1150～1200℃）并长时间保温后炉冷，有时为了软化可以水冷	使化学成分均匀化，减少偏析程度，以利于后步加工，并获得组织性能均匀的材料	主要用于铸件（包括铸锭）
再结晶退火	温度 水冷 油冷 空冷 炉冷 O 时间	将材料加热到一定的高温（一般为 700～1200℃）保温足够时间，然后空冷，也可炉冷、水冷或油冷	1）产生完全再结晶 2）消除加工硬化和内应力 3）恢复合金组织和性能 4）便于冷成形或切削加工 5）为焊接做准备	1）主要用于固溶合金，如板材等 2）冷成形过程的中间退火 3）时效硬化板材焊接件和高度约束焊缝的焊后退火
去应力退火	温度 空冷 O 时间	将材料加热到不产生再结晶的最低温度（一般为 425～870℃）保温一定时间后空冷	1）消除残余应力（热加工或冷加工） 2）促使冷作硬化材料的应力均匀化而不降低其高强度（退火温度一般为 230～480℃）	1）固溶、经热加工或冷加工后 2）形状较为复杂或尺寸偏差要求严格的铸件以及铸件经焊接后 3）用于提高冷作加工弹性元件的比例极限
固溶处理	温度 水冷 O 时间	将合金加热到适当的高温，保温足够时间，使时效硬化元素和碳化物全部或部分溶解，再以适当速度冷却	1）使强化元素溶入固溶体 2）合金成分均匀化 3）晶粒长大调整到适当尺寸	作为沉淀强化高温合金时效处理的预备热处理
时效处理	温度 空冷 O 时间	将固溶处理或冷加工后的合金，在一定温度下保持适当长的时间	从过饱和固溶体中沉淀析出具有一定的尺寸、数量、形态和分布的一种或多种相，以提高材料力学性能	与固溶处理或冷加工相配合，获得所需要的组织状态和性能组合，满足使用要求

2. 高温合金热处理规范

本标准中关于高温合金热处理规范一章的具体工艺参数，主要参考 HB/Z 140《航空用高温合金热处理说明书》。这些工艺参数都是在大量试验研究的基础上确定的，并已被我国各工业部门，特别是航空工业生产所验证。本标准没有按航标那样按材料规格和零件类别分细目编写，而是按材料类别编写的，分别列出了铁基变形合金、镍基变形合金及铸造高温合金的热处理工艺参数。对于

同一个牌号合金，不论是板材、棒材，还是锻件，也不论是钣金焊接件，还是盘件或环件，本标准都给出了具体热处理工艺类别、加热温度、冷却方式，以及保温时间选取原则。这样更适合各个机械部门，为了使用单位制定零件热处理工艺规程时查找方便，留有更多的选择余地。因此，本标准对高温合金热处理生产具有直接指导意义，并且有更广泛的实用性。

3. 设备和工艺材料

设备和工艺材料是保证热处理质量的基础物质条件，这一点已普遍被人们所认识，因此本标准单列一章，对加热设备、冷却设备及冷却介质等提出了一些基本要求。主要内容参考了 GB/T 10067.4《电热设备基本技术条件——间接电阻炉》、GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》，以及 HB/Z 140《航空用高温合金热处理说明书》，同时借鉴了美国波音公司、麦道公司、普惠公司、通用电气公司等有关资料，主要技术要求比较如表 5.2-1 所示。由此可见，本标准在设备及工艺材料方面的技术要求与航标相当，与国外发达国家的大公司标准相近。近年来，由于全国热处理工作者及机械行业同仁的努力，热处理设备有了长足发展，新设备水平不断提高，在改造旧设备方面也有明显的进步，这样为贯彻执行本标准创造了良好条件。

另外，根据调查征求意见的反馈信息，高温合金热处理中很少使用盐浴炉进行加热或冷却，因此，本标准中不再把盐浴炉列为高温合金的热处理设备。

热处理设备的气氛可以采用空气、保护气氛、惰性气体和氮气以及真空炉，相应设备要求应符合 JB/T 10175 要求。保护气氛应采用稀释的放热型保护气氛，比较安全和经济，不宜使用吸热式保护气氛，因为吸热式气氛有渗碳作用。采用氮气作为保护气氛时，应采用高纯氮（≥99.99%）。由于高温下氮气有增氮作用，所以仅允许在不高于或等于 770℃下使用。采用真空炉加热时，要充分考虑合金的合金元素饱和蒸气压，选择真空压强时要兼顾考虑既不产生氧化、脱碳，又不产生合金元素的贫化，真空炉的压升率应符合 JB/T 10175 规定。

4. 工艺过程控制

工艺过程控制的内容是对我国高温合金热处理生产宝贵经验的总结，具有很直接的指导意义和很强的实用性。由于高温合金零件各种机械产品中处于核心部位，起着十分关键的作用，而高温合金又具有合金化程度高、工艺性较差等特点，所以对热处理操作要求严格。本标准中提出了工件装炉前清理与装夹的要求、加热时预热的要求、严格控制保温时间的要求、冷却条件的要求等。

5. 检验

检验一章，强调对高温合金热处理过程实行全面质量管理和控制，再配合必要的热处理检验，才能有效地控制热处理质量，即保证产品性能要求，又稳定可靠。

对于某些高温合金，在加工性能试样时还应注意试样加工时的尺寸效应，有时力学性能不合格，并不是零件或试样本身的热处理问题，而是试样加工有问题导致的力学性能不合格。例如，GH4049 材料经常由于试样加工问题导致高温持久性能不合格。

有些高温合金按标准热处理制度处理后会出现硬度不合格现象，这一方面调整固溶温度或时效温度来调整硬度，但很可能与固溶处理冷却的地区气候、冷却速度快慢有关，因此，在热处理过程中应有专用设备控制冷却。（北京航空材料研究院王广生、臧兰英供稿）

三、标准内容（JB/T 7712—2007）

高温合金热处理

1　范围

本标准规定了高温合金热处理设备、工艺、工艺材料、工艺过程的控制及品质检验等。

本标准适用于常用高温合金的热处理。专用技术文件或订货合同另有规定者除外。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 228 金属材料 室温拉伸试验方法（GB/T 228—2002，eqv ISO 6892：1998（E））

GB/T 230.1 金属洛氏硬度试验 第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）[GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999，MOD]

GB/T 231.1 金属布氏硬度试验 第1部分：试验方法 [GB/T 231.1—2002，eqv ISO 6506-1：1999（E）]

GB/T 2039 金属拉伸蠕变及持久试验方法（GB/T 2039—1997，eqv ISO 204：1997）

GB/T 7232 金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1—2004 电热设备试验方法 第1部分：通用部分（IEC 60398：1999，MOD）

GB/T 10067.1 电热装置基本技术条件 第1部分：通用部分

GB/T 10067.4 电热装置基本技术条件 第4部分：间接电阻炉

GB/T 14992 高温合金和金属间化合物高温材料的分类和牌号

3 术语和定义

GB/T 7232 中确立的术语和定义适用于本标准。

4 常用高温合金及热处理规范

4.1 常用高温合金牌号及化学成分按 GB/T 14992 规定。

4.2 常用铁基变形高温合金热处理规范按表1规定。

表1 常用铁基变形高温合金热处理规范

序号	合金牌号	工序名称	热处理工艺			备注
			加热温度/℃	保温时间	冷却方式	
1	GH1015	中间退火	1080	板材5~15min，锻件约1min/mm	空冷或水冷	板材厚度≤3mm，5~15min 板材厚度3~5mm，12~15min
		固溶处理	1150		空冷或水冷	
2	GH1016	中间退火	1080	板材5~15min，锻件1.4min/mm	空冷或水冷	
		固溶处理	1160		空冷或水冷	
3	GH1035	中间退火	1060~1100	板材1.2~2min/mm，棒材1~1.5h	空冷	
		固溶处理	1120~1150			
4	GH1040	固溶处理	1200	1h	空冷	
		时效	700	16h		
5	GH1131	中间退火	1000	同GH1016	空冷	
		固溶处理	1150			
6	GH1140	中间退火	1050	板材5~20min，锻件1~2h	空冷或水冷	
		固溶处理	1080		空冷	综合性能好
			1150			热强性高

（续）

序号	合金牌号	工序名称	热　处　理　工　艺			备　　注
			加热温度/℃	保温时间	冷却方式	
7	GH2018	退火或固溶	1120～1150	2～12min	空冷	适用于板材零件
		时效	800	16h		
8	GH2036	固溶处理	1140	80min	流动水冷	大型锻件保温 3h
		时效	660	16h	继续升温至	
			770～800	16h	空冷	
9	GH2038	固溶处理	1140	2h	流动水冷	
		时效	780	16～25h	空冷	
10	GH2130	一次固溶	1180	1.5h	空冷	
		二次固溶	1050	4h		
		时效	800	16～20h		
11	GH2132	退火或固溶	980	板材 8min/mm，棒材 1h/25mm，锻件 1～2h	厚度＜2.2mm 空冷，其余油冷	冷热成形和焊接后需固溶
		时效	720	16h	空冷	适用于各类锻件
		时效	600～650	16h		适用于冷作材料
12	GH2135	固溶处理	1140	8h	空冷	适用于各类锻件
		一次时效	830	8h		
		二次时效	700	16h		
		固溶处理	1080	8h		适用于棒材制造的零件
		一次时效	830	8h		
		二次时效	700	16h		
13	GH2302	一次固溶	1180	2h	空冷	适用于棒材制造的零件
		二次固溶	1050	4h		
		时效	800	16h		
		固溶处理	1120	5～25min		适用于板材零件
		时效	800	16h		
14	GH2761	固溶处理	1120	2h	水冷	适用于大型锻件
		一次时效	850	4h	空冷	
		二次时效	750	24h		
		固溶处理	1090	2h	水冷	适用于其他锻件
		一次时效	850	4h	空冷	
		二次时效	750	24h		
15	GH2901	退火或固溶	1090	2h	水冷或油冷	按硬度要求选择二次时效温度
		一次时效	780	4h	空冷	
		二次时效	700～730	24h		

（续）

序号	合金牌号	工序名称	热处理工艺			备注
			加热温度/℃	保温时间	冷却方式	
16	GH2903	固溶处理	845	1h	空冷	
		一次时效	720	8h	以55℃/h炉冷至620℃	
		二次时效	620	8h	空冷	

4.3 常用镍基变形高温合金热处理规范按表2规定。

表2 镍基变形高温合金热处理规范

序号	合金牌号	工序名称	热处理工艺			备注
			加热温度/℃	保温时间	冷却方式	
1	GH3030	退火或固溶	1000	8～16min	空冷	综合性能好
		固溶处理	1150	8～16min		热强性好
2	GH3039	中间退火	1050	8～16min	空冷或水冷	
		固溶处理	1080	8～16min	空冷	综合性能好
			1170	8～16min		热强性好
3	GH3044	中间退火	1140	板材8～16min，棒材2.5h	空冷	
		固溶处理	1150			综合性能好
			1200			热强性好
4	GH3128	中间退火	1100	板材8～16min，锻件1.5h	空冷	
		固溶处理	1160			综合性能好
			1200			热强性好
5	GH4032	固溶处理	1080	8h	空冷	
		时效	700	16h		
6	GH4033	固溶处理	1080	8h	空冷	
		时效	700	16h		适用于棒材
			750	16h		适用于锻件
7	GH4037	一次固溶	1180	2h	分散空冷	
		二次固溶	1050	4h	空冷或缓冷	
		时效	800	16h	空冷	
8	GH4043	一次固溶	1170	5h	空冷	
		二次固溶	1070	8h		
		时效	800	16h		
9	GH4049	一次固溶	1200	2h	分散空冷	
		二次固溶	1050	4h		
		时效	850	8h	空冷	
10	GH4133 GH4133B	固溶处理	1080	8h	空冷	适用于750℃以下工作的各种锻件
		时效	750	16h		

（续）

序号	合金牌号	工序名称	热处理工艺			备注
			加热温度/℃	保温时间	冷却方式	
11	GH4169	中间退火	1010	20～45min	快速空冷	用于恢复塑性
		固溶处理	950～980	1h	油冷、空冷或水冷	
		一次时效	750	8h	40～50℃/h 炉冷至620℃	
		二次时效	620	8h	空冷	
12	GH4099	中间退火	1100	15～20min	空冷或水冷	大型板材结构件可在固溶处理后不经时效直接使用
		固溶处理	11140	10～20min	空冷	
		时效	900	4h		
13	GH4698	一次固溶	1120	8h	空冷	
		二次固溶	1000	4h		
		时效	775	16h		

4.4　铸造高温合金热处理规范按表3规定。

表3　铸造高温合金热处理规范

序号	合金牌号	工序名称	热处理工艺			备注
			加热温度/℃	保温时间	冷却方式	
1	K211	时效	900	5h	空冷	
2	K214	固溶处理	1100	5h	空冷	
3	K401	固溶处理	1120	10h	空冷	
4	K403	固溶处理	1210	4h	空冷	
5	K406	时效	980	5h	空冷	或铸态使用
6	K409	固溶处理	1080	4h	空冷	或铸态使用
		时效	980	10h	空冷	
7	K412	固溶处理	1150	7h	空冷	
8	K418	固溶处理	1170	2h	空冷	
		时效	930	16h	空冷	

5　设备与工艺材料

5.1　加热设备

5.1.1　高温合金热处理加热应采用间接电阻炉，常用炉型有空气电炉、保护气氛炉、真空炉等。其技术条件应符合GB/T 10067.1和GB/T 10067.4的规定。

5.1.2　热处理炉的有效加热区的炉温均匀性应不超过±10℃，有效加热区的测定和管理应该符合GB/T 9452的规定。

5.1.3　加热炉的每个加热区都应配备自动控制、记录和报警的温度仪表。温度仪表的精度等级应高于0.5级。

5.1.4　真空炉的真空度在高于0.13Pa的状态下，压升率应小于0.67Pa/h，测定方法按GB/T

10066.1—2004 中 7.1.10.3 的规定进行。

5.1.5 高温合金热处理保护气氛主要用氩气。加热温度不超过1000℃时，也可以用放热式气氛或氮基气氛，还可以采用涂料保护。禁止使用还原性气氛。

5.2 冷却设备

5.2.1 淬火槽

5.2.1.1 淬火槽应有足够的容积和循环搅拌系统，必要时应配备冷却或加热装置。不用压缩空气搅拌。

5.2.1.2 淬火槽应安装测温装置，测温仪表的分辨力应不大于5℃。

5.2.1.3 淬火槽与加热炉的相对位置，应满足有关工艺文件对淬火转移时间的要求。

5.2.2 冷却介质

5.2.2.1 常用冷却介质有空气、氩气、油、水、有机聚合物水溶液等。

5.2.2.2 淬火油使用温度一般为20～100℃，淬火用水使用温度为10～40℃。

5.2.2.3 对于要求在空气中快冷的工件，应配备风冷设施；对于要求在空气中缓冷的工件，应准备专用缓冷装置。

6 工艺过程控制

6.1 装炉

6.1.1 工件入炉前，表面应进行清洗除油、除污；对于加工余量小于0.3mm或无加工余量的工件，表面应保持干燥洁净，入炉前应无指印、标志液、水及其他污染。

6.1.2 热处理夹具接触工件的部分，应具有与热处理工件相同的清洁程度。

6.1.3 工件的摆放应能使炉气在其内外表面流动畅通、加热均匀。

6.1.4 装炉量要适当，使工件能在工艺规程规定的时间内回复到工艺规定的温度。

6.1.5 工件应定位或放在专用夹具上，避免或减少工件在热处理过程中变形。盛放工件的料盘、料筐或夹具在炉内放置位置要合适，使全部工件都处于炉子有效加热区内。

6.2 加热

6.2.1 对于尺寸较大、形状复杂的工件，固溶处理加热时应采用预热或分段加热。预热加热温度一般为800～850℃；固溶处理温度在1000℃以上，一般采用两段或两段以上的分段加热。

6.2.2 对于有预热或分段加热的热处理，工件应在预热温度以下入炉；无预热或分段加热时，工件应在炉子到期达工艺温度后入炉。

6.2.3 工件装炉后，按规定的热处理规范加热，控温精度为±10℃。

6.3 保温时间

6.3.1 当炉内所有热电偶指示温度都达到热处理规定的温度下限时，开始计算保温时间。

6.3.2 保温时间应根据工件最大有效厚度选择。热处理过程的保温时间参照表1～表3。

6.4 冷却

6.4.1 根据合金性能要求、工件形状和尺寸，可选择空冷、油冷、水冷、炉冷等。

6.4.2 对需焊接或冷成形的材料，应快速冷却。

6.5 清理

6.5.1 热处理后，工件可用碱洗、酸洗、喷砂、喷丸或机加工等方法除去氧化皮。

6.5.2 在进行多次加热时，可在最后一次加热后清除氧化皮。

7 检验

7.1 根据图样、工艺规程及有关技术文件要求，检验工件的热处理质量。

7.2 硬度检验按GB/T 230.1、GB/T 231.1规定进行。

7.3　力学性能检验按 GB/T 228、GB/T 2039 规定进行。

第三节　球墨铸铁热处理工艺及质量检验

一、概论

球墨铸铁件常用于管道、农机具的铧犁、拖拉机底盘、离合器壳体、通用机械支架、阀体、气缸体、内燃机曲轴、油泵齿轮、凸轮轴等，有些是不需要热处理的，但还有相当部分需要进行热处理，如消除应力的去应力退火，提高塑性、韧性并降低硬度及改善切削加工性能的石墨化退火，提高强度、硬度和耐磨性、改善切削加工性的正火，提高强度、硬度和韧性的等温淬火等。

球墨铸铁有很多钢件不具备的独特优点，但由于原材料、铸造设备、铸造工艺、球化效果、热处理等标准的欠缺，球墨铸铁件的缺陷较多，合格率较低，造成球墨铸铁的应用受到限制。

本标准最早于 1992 年由北京机电所、第一汽车集团编制，当时对国内外相关资料进行了检索，对国内有代表性的 50 多个厂矿企业发函调查，并就有关工艺和性能指标做了部分试验，广泛征求专家意见后确定标准条文和技术指标。2007 年又按照新的标准要求做了修订，标准中的技术内容未做修改。

二、标准应用说明

1. 范围

常用球墨铸铁件热处理工艺有高温石墨化退火、低温石墨化退火、完全奥氏体化正火、部分奥氏体化正火、低碳奥氏体化正火、完全奥氏体化淬火、完全奥氏体化等温淬火等；球墨铸铁的感应淬火、火焰淬火、气体渗氮和氮碳共渗、离子渗氮、渗硼分别在 JB/T 9201《钢铁件的感应淬火回火处理》、JB/T 9200《钢铁件的火焰淬火回火处理》、GB/T 22560《钢铁件的气体氮碳共渗》、JB/T 8491.5《机床零件热处理技术条件第 5 部分：渗氮、氮碳共渗》、JB/T 6956《钢铁件的离子渗氮》、JB/T 4215《渗硼》中部分提及，这部分热处理工艺及质量检验不包含在本标准中，球墨铸铁的相应热处理可参照相关标准。

标准中的“其他球墨铸铁”主要指锰耐磨球墨铸铁、耐热球墨铸铁等。

2. 术语

本标准只列入常用球墨铸铁的热处理工艺术语，应用较少的工艺如低碳奥氏体化淬火、低碳奥氏体化等温淬火、部分奥氏体化淬火、部分奥氏体化等温淬火等，因相关参数指标收集太少，没有列入本标准，与钢的热处理区别不大的工艺如调质、回火、去应力退火、火焰淬火、感应淬火、氮碳共渗、渗硼等也未列入本标准。

3. 热处理工艺的应用

球墨铸铁常用的热处理工艺为退火、正火、淬火，由于球墨铸铁的相变温度在一定的温度范围，其热处理工艺与钢有区别。

这些年发展起来的奥-贝球墨铸铁（球墨铸铁经等温淬火后获得以残留奥氏体和上贝氏体为主的奥-贝球墨铸铁）具有优良的力学性能，获得了日益广泛的应用，取得了很好的经济效益。

4. 热处理设备

本标准对球墨铸铁的热处理加热设备的保温精度、冷却设备的使用温度范围、测温装置的误差做了规定。以前球墨铸铁常用的热处理设备采用燃煤或燃油加热，这些设备通常都没有严格的温度控制，炉温均匀性通常大于 ±20℃，由于这些炉型能耗大，对环境污染大，工作环境差，燃煤、燃

油炉已经大量淘汰，目前使用的通常为控温精度较好的燃气炉和电炉。按 GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》的分类，±20℃为 V 类炉，按 AMS 2750D《高温测量法》分类，±14℃为 5 类炉，±28℃为 6 类炉。对大型铸件使用燃气加热的台车炉，炉温均匀性通常都能保证±20℃。这些设备对保证球墨铸铁件的热处理质量起到了关键作用。

5. 热处理工艺

球墨铸铁的相变是在一定温度范围完成。在确定加热温度时，热处理人员应根据工件材料，参照已有材料的相变温度确定需要处理工件材料的相变温度。相变温度可通过试验确定，本标准提供了几种热处理工艺的加热温度参数计算公式。加热速度和保温时间根据工件材料成分、尺寸大小、形状由工艺试验和经验确定。冷却介质温度、冷却时间根据热处理要求由工艺试验确定。装炉量应保证加热和冷却的均匀。

6. 质量检验

质量检验按球墨铸铁件的重要程度分普通件、重要件和特殊重要件。针对不同的球墨铸铁件规定了相应的检验项目和内容。

本标准规定硬度检验以布氏硬度检验结果为准。这是考虑到布氏硬度压痕较大，代表被测工件在较大体积内的平均性能，且易于保证测量精度。对于完全奥氏体化下贝氏体等温淬火件，其硬度值往往超出布氏硬度的测量范围。在这种情况下，应采用洛氏或维氏硬度测量方法。在测定了几种热处理工艺实际工件硬度值的基础上，结合国内一些厂矿企业提供的有关硬度数据，就硬度的波动范围做了规定。

关于力学性能检验中的冲击试验，有些单位认为夏比（V 型缺口）冲击试验法不适合于球墨铸铁，因为球墨铸铁不同于钢材，缺口敏感性较高，应该用无缺口试样。由于在 GB/T 1348《球墨铸铁件》中已明确规定了以夏比（V 型缺口）冲击试验法来评定其冲击性能，为了统一起见，对此仍维持原规定。

7. 贯彻本标准应注意的几个问题

（1）本标准是机械行业的推荐性标准，通用性强，因而不可能对工艺参数做出更具体的规定。它是保证产品质量的基本规定，而不是直接指导生产操作的工艺文件。如各工艺加热的保温精度、硬度波动范围等均为其最低要求。在制定具体热处理工艺时，可根据炉膛尺寸、工件大小和工件重要程度等多方考虑来确定，但要求只可比其高，切不可低于本标准的规定。

（2）在等温淬火工艺中，本标准规定等温淬火液使用温度为预定温度 T±15℃。由于等温温度对球铁等温淬火处理后的组织匹配（如残留奥氏体和上贝氏体在基体中的比例或下贝氏体、残留奥氏体和马氏体的比例等）影响很大，而组织匹配情况又直接影响到球墨铸铁件的性能。因此，非常必要和必须严格、精确地控制此工艺参数。但是，由于等温盐浴热惯性很大，热的工件进入等温盐浴后，常常引起浴温的较大波动，若想控制得更精确，达到预定温度±10℃、预定温度±5℃，则很困难。结合当前国内具体状况，考虑到今后企业贯彻本标准的难易，将其确定为预定温度±15℃。以后厂矿企业在使用本标准进行等温淬火处理时，应对每一工件的蓄热量、盐浴容积和散热情况等进行事先的初步计算，从而决定每次处理时的装炉量，以便将等温时的保温精度更精确、更严格地加以控制。

（3）在质量检验项目中，普通件、重要件和特殊重要件均要进行力学性能检验。其中，拉伸和冲击（如要求检验）试验一般一个批量检验一次。检验时，先用一根拉伸试样或一组（3 根）冲击试样进行试验。如果试验结果有效并符合要求，则该批工件合格。如果试验结果达不到要求，再用双倍同批试样进行重复试验。当重复试验结果都能达到要求时，则该批工件合格，如果双倍重复试验中有 1/2 达不到要求时，则该批工件不合格。其中批量划分在标准 GB/T 1348 中有规定，一

般按由同一包铁液浇注的铸件为一个批量。当连续不断地熔化大量同一牌号的铁液时，以两个小时所浇注的铸件为一个批量或每批铸件重量为2000kg算一个批量。如果同一批量的铸件需几炉才能热处理完毕，则在保证每炉工艺参数相同的条件下，一般以其中一炉处理出的拉伸和冲击试样测定的结果为准，但每炉必须进行其他项目（如外观、硬度、金相等）检验。[爱协林热处理系统（北京）有限公司段汉奇供稿]

三、标准内容（JB/T 6051—2007）

球墨铸铁热处理工艺及质量检验

1　范围

本标准规定了普通和低合金球墨铸铁（以下简称球铁）的热处理工艺、设备及质量检验方法。

本标准适用于球铁的退火、正火、淬火、回火及等温淬火热处理工艺。对于其他球墨铸铁，可视其工艺要求，参照执行。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 228　金属材料　室温拉伸试验法［GB/T 228—2002，eqv ISO 6892：1998（E）］

GB/T 229　金属夏比缺口冲击试验方法（GB/T 229—1994，eqv ISO148：1983）

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第1部分：试验方法［GB/T 231.1—2002，eqv ISO 6506-1：1999（E）］

GB/T 1348　球墨铸铁件

GB/T 4340.1　金属维氏硬度试验　第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 7232　金属热处理工艺术语（GB/T 7232—1999，neq DIN EN 10052：1994，JIS B 6905：1995）

GB/T 9441　球墨铸铁金相检验

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

3　术语和定义

GB/T 7232中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　高温石墨化退火　high temperature graphitizing

铸态组织中有共晶渗碳体、一次渗碳体的铸件，加热到 A^Zc_1 温度以上，保温，然后炉冷至室温或炉冷至 A^Zr_1 温度以下空冷，获得珠光体、珠光体+铁素体基体组织。

3.2　低温石墨化退火　low temperature graphitizing

铸态组织为珠光体和石墨或珠光体、铁素体和石墨的铸件，加热到稍低于 A^Zc_1 温度，保温，然后炉冷至室温或炉冷至 A^Zr_1 温度以下空冷，获得铁素体为主的基体组织。

3.3　完全奥氏体化正火　complete austenitizied normalizing

铸件加热到 A^Zc_1 温度以上，使基体全部转变成奥氏体后，出炉空冷、风冷或雾冷，获得珠光

体为主的基体组织。

3.4 部分奥氏体化正火 partial austenitized normalizing

铸件加热到 $A^{S}c_{1}$ 与 $A^{Z}c_{1}$ 温度间保温，出炉空冷、风冷或雾冷，获得珠光体与铁素体基体组织。

3.5 低碳奥氏体化正火 low-carbon austenitized normalizing

铸件加热到略低于 $A^{S}c_{1}$ 温度，保温，然后快速加热到 $A^{Z}c_{1}$ 某一温度，不保温，出炉空冷、风冷或雾冷，获得珠光体与铁素体基体组织。

3.6 完全奥氏体化淬火 complete austenitizied quenching

铸件加热到 $A^{Z}c_{1}$ 温度以上，保温，使基体全部转变成奥氏体后，出炉淬火，获得马氏体为主的基体组织。

3.7 完全奥氏体化等温淬火 complete austenitizied isothermal hardening

铸件加热到 $A^{Z}c_{1}$ 温度以上，保温，使基体全部转变成奥氏体后，出炉淬入 $A^{Z}r_{1}$ 以下某一温度的恒温浴中，保温，取出空冷，获得以贝氏体或以贝氏体 + 残留奥氏体为主的基体组织。

注：$A^{Z}c_{1}$——在加热过程中，铁素体完全转变成奥氏体的温度；

$A^{S}c_{1}$——在加热过程中，奥氏体开始形成的温度；

$A^{S}r_{1}$——在加热过程中，奥氏体完全转变成珠光体与铁素体的温度。

4 热处理工艺的应用

4.1 高温石墨化退火用于基体组织中含有较多共晶渗碳体及合金元素偏析的铸件。

4.2 低温石墨化退火用于基体组织中无共晶渗碳体且珠光体量较高、要求具有高塑性和高韧性的铸件。

4.3 去应力退火用于消除铸件的铸造应力或消除由于铸件补焊、机械加工、热加工等产生的残余应力。

4.4 完全奥氏体化正火用于基体组织中有少量共晶渗碳体或存在较小程度合金元素偏析，且要求具有较高强度的铸件。

4.5 部分奥氏体化正火用于基体组织相对均匀，无共晶渗碳体，且要求具有一定强度和韧性的铸件。

4.6 低碳奥氏体化正火用于基体组织相对均匀，无共晶渗碳体，且要求具较高韧性的铸件。

4.7 调质用于要求具有良好综合力学性能或较大型的、用正火难以满足其性能要求的铸件。

4.8 回火用于淬火后稳定组织、提高韧性、消除应力的铸件。

4.9 上贝氏体等温淬火获得以上贝氏体及残留奥氏体为主的基体组织，用于要求具有高强度、高韧性的球铁件。

4.10 下贝氏体等温淬火获得以下贝氏体和少量马氏体为主的基体组织，用于要求具有高强度、高硬度、高耐磨性的球铁件。

5 热处理设备

5.1 加热设备

5.1.1 热处理炉有效加热区的保温精度应符合表 1 的规定；有效加热区检测应按 GB/T 9452 规定执行。

5.1.2 燃气、燃油、燃煤加热炉的火焰不能直接接触工件。

5.1.3 可控气氛加热炉应根据热处理工艺要求调节和控制炉内气氛。

5.1.4 采用盐浴炉加热时应对盐浴进行充分脱氧，且使用盐浴不能对铸件有腐蚀及其他有害作用。

5.1.5 应尽可能采用少、无氧化加热设备。

表　1

工艺类型	保温精度/℃	工艺类型	保温精度/℃
高温石墨化退火	±20	部分奥氏体化正火	±15
低温石墨化退火	±15	完全奥氏体化淬火	±15
去应力退火	±20	回火	±15
完全奥氏体化正火	±20	完全奥氏体化等温淬火	±10
低碳奥氏体化正火	±15		

5.1.6　连续作业炉应能调节输送速度，以使处理件在炉内保持必要的加热时间。

5.2　冷却设备及冷却介质

5.2.1　冷却设备应保证处理件各部位均匀冷却，冷却中应配有使冷却介质适当循环的搅拌装置或有同样效果的其他装置。必要时应带有保证淬火介质使用温度的调节装置。

5.2.2　冷却设备应能保证淬火介质的使用温度，并符合表 2 的规定。

表　2

冷却设备	冷却介质	使用温度/℃	冷却设备	冷却介质	使用温度/℃
水槽	水	10～50	油槽	普通淬火油	20～100
	无机水溶性淬火液	10～60	盐浴	等温淬火液	预定温度 T±15

5.2.3　冷却介质的冷却性能应符合工艺要求，对热处理件不产生腐蚀及其他有害影响。

5.2.4　连续式冷却设备应能确保调节输送速度。

5.3　温度测定和控制设备

5.3.1　热处理加热和淬火冷却设备应配备测量和控温装置。连续式炉的每个加热区应配有跟踪处理温度随时变化的记录装置。

5.3.2　测温装置的总误差不得超过表 3 的规定。

表　3　（单位：℃）

预定温度 T	≤400	>400
总误差	±4	±（T/100）

5.4　热处理设备校验与维修

应定期检查和维护热处理设备，校验热电偶和控温仪表，热处理炉应按 GB/T 9452 测定有效加热区，并保存有关记录。

6　热处理工艺

6.1　热处理前的准备

6.1.1　了解待处理件的化学成分、热处理工艺要求和金相组织，其原始组织应符合技术要求，否则必须进行预处理。

6.1.2　检测待处理件的表面、外观、几何形状和尺寸，不允许有裂纹和严重划伤等表面缺陷存在。

6.1.3　必要时对待处理件表面进行清理、清洗、烘干和涂防氧化涂料等处理。

6.1.4　检查热处理设备和仪表是否正常。

6.2　工艺规范

6.2.1　加热温度

处理件的加热温度主要根据材料的相变点、原始组织、工作形状尺寸和处理目的等因素确定，具体可参照附录 A。

6.2.2 加热速度

一般采用低温入炉随炉升温的加热方式。截面积较大、形状复杂的热处理件应进行预热。对于尺寸较小、形状简单的热处理件也可在热处理加热温度装炉加热，但应不影响其质量。

6.2.3 保温时间

根据加热温度、加热介质、处理件形状、尺寸、装炉量以及原始组织等因素，合理制定保温时间。

6.2.4 冷却速度

根据工艺要求选择合适的冷却速度，使处理件达到所需要的组织和性能。

退火件一般在炉温冷却到低于 550℃ 出炉空冷，对于要求内应力较小的工件应炉冷到低于 350℃ 出炉空冷。

正火件一般采用空冷，对某些大件或要求组织中珠光体量较高的铸件，也可采用风冷、雾冷。

调质件的淬火一般采用油冷和水溶性淬火液冷却，对形状各单位铸件，也可采用水冷或其他介质冷却。回火一般采用空冷。

等温淬火件一般采用热浴冷却，热浴温度一般为 230～380℃。

6.3 热处理后续工序

6.3.1 热处理后的工件必要时可进行清洗或去除氧化皮。

6.3.2 热处理后经校直的工件，必要时可施行去应力处理。

6.4 热处理过程记录

对热处理过程中的作业方法、工艺流程、条件以及操作者等应作记录并存档。

7 热处理品质检验

7.1 品质检验项目

根据热处理使用情况，可将其分为普通件、重要件和特殊重要件，相应的质量检验内容按表 4 规定。

表 4

分类	检验项目	分类	检验项目
普通件	外观、力学性能、畸变	特殊重要件	外观、力学性能、畸变、金相组织、探伤
重要件	外观、力学性能、畸变、金相组织		

7.2 品质检验工作内容和要求

7.2.1 外观

已处理件表面不能有裂纹、损伤等影响其性能和使用的缺陷存在，不允许有残盐、锈蚀等存在。

7.2.2 力学性能

7.2.2.1 硬度

硬度测定可在铸件或同炉试样上进行，其硬度波动范围不得超过表 5 的规定。

7.2.2.2 抗拉强度、延伸率和冲击值

测定抗拉强度、延伸率和冲击值可采用单铸或附铸试块进行，并满足 GB/T 1348 的规定，单铸试块应与同炉号浇铸、同炉热处理，附铸试块应在热处理后从铸件上切取。如在铸件本体上取样，

取样部位及要达到的性能指标，供需双方必须在热处理前商定。抗拉强度和延伸率为验收依据，并且必须达到牌号要求。冲击值仅在明确要求时，才进行检验。

表　5

工　艺　方　法			退火	正火	调质	等温淬火
硬度波动范围	单件	HBW	30	30	25	25
		HV	—	—	40	40
		HRC	—	—	5	5
	同批	HBW	55	55	45	45
		HV	—	—	75	75
		HRC	—	—	9	9

7.2.3　金相组织

球铁球化级别应不低于4级，基体组织符合技术要求。

7.2.4　畸变

处理件的变形应不影响以后的机械加工和使用，并符合其技术要求。

7.3　质量检验方法

7.3.1　无损检测试验

裂纹及表面伤痕可采用目测、荧光检测、磁粉检测等方法进行。磁粉检测后应做退磁处理。

7.3.2　力学性能试验

硬度试验可按GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1等规定执行。拉伸试验按GB/T 228的规定执行。冲击试验按GB/T 229的规定执行。

7.3.3　金相组织检验

按GB/T 9441及有关标准的规定执行。

7.4　质量监控

检验人员按工艺文件要求及有关标准的规定进行检查，监控热处理工艺过程的正确贯彻执行，并提交品质检验报告。

8　处理件的材料

处理件检验合格后，要做合格标记，应标明球墨铸铁牌号、热处理状态、热处理厂家和日期、工件图号、名称和数量等。球墨铸铁牌号按GB/T 1348规定执行。

附　录　A

（资料性附录）

球墨铸铁热处理工艺温度

球墨铸铁热处理工艺温度见表A.1。

表　A.1

工　艺　方　法		工　艺　温　度/℃
退火	高温石墨化退火	$A^{Z}c_1+(50\sim100)$
	低温石墨化退火	$A^{S}c_1-(30\sim50)$
	去应力退火	常用温度560~620

（续）

工艺方法		工艺温度/℃
正火	完全奥氏体化正火	$A^Z c_1 + (50 \sim 70)$
	部分奥氏体化正火	$A^S c_1 \sim A^Z c_1$ 之间
	低碳奥氏体化正火	$A^S c_1 - (30 \sim 50)$ 保温后快速加热到 $A^S c_1 + (30 \sim 50)$ 不保温冷却
调质	完全奥氏体化正火	$A^Z c_1 + (30 \sim 50)$
	高温回火	常用温度 560～600
等温淬火	上贝氏体等温淬火	$A^Z c_1 + (30 \sim 50)$ 常用等温淬火温度 350～380
	下贝氏体等温淬火	$A^Z c_1 + (30 \sim 50)$ 常用等温淬火温度 230～330

第四节　可锻铸铁热处理

一、概论

可锻铸铁是一种成本低廉、性能优良的工程材料。它具有良好的强度、减振性、切削性、焊接性和铸造性，特别是力学性能的伸长率和韧性，居于各类铸铁之首。可锻铸铁已经在各种机械零件、工具、管道构件等方面得到了普遍应用。

由于可锻铸铁应用面的不断扩大，国内外对这种材料的生产和研究都很重视，因此，可锻铸铁的产量和质量得到了迅速的发展。随着工农业及交通、建筑、电力工业的发展和外贸业务的增加，今后我国还将大量地发展可锻铸铁的生产。

本标准制定于 1994 年，为了保证标准的时效性，于 2007 年进行了修订。

二、标准应用说明

1. 我国目前可锻铸件的生产现状

可锻铸铁可分为黑心、白心和珠光体 3 大类。黑心可锻铸铁的基体组织为铁素体，具有一定的强度和塑性；其热处理工艺要进行第一阶段高温及第二阶段低温二个石墨化退火。

珠光体可锻铸铁具有较高的强度和硬度，热处理时要求具备快冷功能的退火炉；白心可锻铸铁是在脱碳介质中进行退火，铸件有较高的塑性及焊接性。

我国可锻铸铁的生产受到各种因素的影响，目前可锻铸铁主要产品为黑心可锻铸铁；随着产品质量及环保要求的不断提高，热处理设备基本上都已从台车煤粉（或煤）炉向天然气为热源的方向发展。所以本标准的制定是根据我国生产现状，重点放在黑心可锻铸铁热处理工艺、设备及其辅助设备上。

2. 主要技术指标的确定

本标准中规定的力学性能和质量检测指标等，主要以国际标准、工业发达国家标准及我国国家标准为基础，并结合了我国可锻铸铁生产的实际情况。其中主要指标均等同于国内外先进水平。

3. 退火炉

可锻铸铁用的退火炉炉型，按使用热能来分：有煤粉（或块煤）、可燃气、重油及电热等；按操作制度来分：有连续式和周期式；按炉底活动方式来分：有固定炉底式、升降式和台车式等。目前我国可锻铸铁生产所用的退火炉，大多数已从粉煤或块煤做燃料的台车式周期作业炉向燃气炉方向发展。标准中要求退火炉具有炉温均匀性、节能、减少污染、气密性、调节冷速及测温孔、取样

孔等。要满足这些要求，在炉子结构方面的有测温孔、取样孔的位置与数量；台车与炉墙之间砂封，台车墙与炉壁泥封、烟道及烟囱位置、大小与高度等；配备辅助装置，如废气除尘装置、粉煤机、鼓风机等；还特别要求在热处理工艺及操作上的配合。

4. 退火箱

为了防止铸件在退火过程中被炉气氧化侵蚀，一般均将铸件装在退火箱中，并用黄泥或耐火泥密封。

退火箱长期处于高温条件下工作，极易变形氧化，使用寿命较低，常用的退火箱材料为白口铸铁，外形有方形和圆形两种，规格大小根据产品种类、形状、大小及炉子装炉量、炉型等而定。

生产珠光体可锻铸铁和气体脱碳介质处理的白心可锻铸铁，退火时使用的退火箱只起料盘作用。

最近高铬铸铁退火箱的应用，其使用寿命大幅度提高，经核算总的成本低于白口铸铁的退火箱，所以这种退火箱将有推广前途。

5. 粉煤机

用煤粉做燃料，在热能利用、劳动强度及炉温均匀性等方面均优于块状煤。由于粉煤机是煤粉炉的主要辅助设备，为此本标准专门列项介绍。

粉煤机由箱体、漏斗、送煤器、衬板、叶角、风叶、电动机和蜗轮箱等组成，它起着破碎煤块和输送煤粉的作用。粉煤机在操作阶段的主要任务是保证退火炉及铸件的升温以及石墨化阶段的保温。热处理工人必须对粉煤机的使用和下煤量的调节能熟练操作。因为粉煤机本身的制造质量和操作方法直接影响到铸件石墨化退火的质量。

6. 黑心可锻铸铁的退火工艺

（1）升温阶段。随着黑心可锻铸铁退火炉装载量的加大，对炉子的升温速度及炉温均匀性要特别注意，开始升温从点火起2h内，炉温缓慢上升；2h后加强火势，当炉温升到800℃左右，要适当减慢升温速度，可采用加热一段时间，停烧一段时间的方法，来缩小炉膛内的温差。在退火工艺上，可采用1～2次分段方式使工件均温。分段均温的温度一般用300～400℃或400～550℃，均温时间为3～5h，这种分段均温又称小保温，它的优点是不但能均温，还有产生自发石墨核心作用，对第一阶段石墨化有利。

（2）第一阶段石墨化。黑心可锻铸铁第一阶段石墨化退火的温度范围较宽，将白口铸件加热到 A_1 相变点以上并保持一段时间，则珠光体和一部分游离渗碳体转变为奥氏体，而大部分渗碳体直接分解为奥氏体和石墨；渗碳体的分解速度取决于退火温度，温度越高，渗碳体的分解进行得越快。退火温度超过1050℃时，原子扩散速度极快，这样分解后的石墨易形成鳞片状，降低铸件的力学性能；退火温度过高还易产生过烧等缺陷，这种缺陷是无法补救的。为了保证黑心可锻铸铁的质量，标准中第一阶段石墨化温度规定为850～1050℃。根据调研资料统计，我国大多数工厂生产黑心可锻铸铁用900～950℃。白心可锻铸铁退火是以脱碳为主的石墨化过程，故退火温度高一些较为有利，标准中定为930～1050℃。据资料介绍生产上常用980～1050℃，如果采用电阻炉，最高退火温度可达1070℃。

第一阶段石墨化时间主要取决于退火温度、铸件的化学成分及装炉量等因素。因此，在事先必须对每个炉次的铸件要取样进行化学分析。热处理技术人员应根据铸件中合金元素的含量指定退火用炉，制定出这一批铸件的热处理工艺规程。操作工人按工艺要求中规定的石墨化时间取出随炉试片，放在通风口冷却半小时后打断，对宏观断口进行分析，如果发现有残余渗碳体，应按其残留数量酌情延长石墨化时间。

（3）第二阶段石墨化。通过中间冷却降温到 A_1 临界点附近的温度范围内，进行第二阶段石墨

化退火。在这个过程中，珠光体中的共析渗碳体分解为铁素体+石墨。具体方法有两种，一种是本标准介绍的炉温降到760~650℃范围内缓慢冷却，冷却速度一般为3~5℃/h，这种方法生产上用得较多。另一种方法是降温到A_1临界点(738℃)以下保温，使珠光体石墨化。析出的石墨仍附着在已生成的石墨团上。第二阶段石墨化时间，也是以工艺规程为主、结合炉前试片检查断口中残余珠光体含量，来决定是否延长石墨化时间。

7. 关于炉温均匀性问题

可锻铸铁与钢的热处理相比较，在生产规模、使用设备及工艺要求等方面，都有很大的区别，尤其是炉子的装载量、升温时间和保温时间等，远远大于钢件热处理时的情况。因此，体现在标准的制定上，两者也自然有所不同。例如，钢件热处理用的加热设备，一般都要定量地规定其炉温均匀性，但从必要性和可能性来看，用于黑心可锻铸铁石墨化退火的加热设备，似乎可以不必如此严格，故本标准未对炉温均匀性作定量规定。

为了提高铸件石墨化退火过程的质量，标准中定性的要求炉温均匀。为此要求从下列几方面加以注意：①炉子结构方面：如燃烧器的位置应设在燃烧室底部的中间；炉膛两侧所开排烟口的位置与大小和烟囱的截面、高度、对热量的传导有密切的关系；炉墙耐火材料和绝热材料有足够保温性能；台车上设有砂封、冷却孔、测温孔和取样孔等，这些孔要注意气密性。②工艺方面：可采用1~2次分段均温及烧、停结合的均温操作。③操作方面要求工人熟练掌握炉子的特性，从装载退火箱时应注意留有空隙，不允许阻挡火焰畅通，严禁火焰垂直喷到退火箱或铸件上；要随时注意热电偶测温表及光学高温计温度值变化，每隔0.5~2h测量一次，并通过窥视孔用肉眼察看炉膛内各部位退火箱的火色，及时调整燃料的喷入量及喷射距离，控制大小闸门的高低、大小及开启次数，并做到每隔2~4h记录一次，达到能完整正确的反映实际情况。

8. 珠光体可锻铸铁的进一步热处理

珠光体可锻铸铁通过进一步热处理，可获得高强度、高耐磨性的零件，如要求高强度及高韧性的零件，可将珠光体可锻铸铁进行等温淬火。要求耐磨的零件，可采用淬火+低温回火的工艺。要求局部硬化的零件，可采用感应淬火或火焰淬火。

9. 关于质量检验

(1) 铸件的表面质量。①不允许有氧化皮剥落现象，这里是指铸件表面产生严重的氧化皮剥落，而轻度氧化皮是允许的；②对重要件及大批量产品的首件检查，要对铸件用肉眼逐个检查，但对于一般铸件只需抽验即可。

(2)铸件的变形。对一般铸件热处理后的变形检查，可采用抽验。铸件由于热处理产生变形，允许通过矫正方法消除，但对于珠光体可锻铸铁零件不允许用热矫正方法。

(3)力学性能。力学性能检验是从能代表实际铸件的拉伸试样上进行的，其中任意抽取一根试样进行抗拉强度和伸长率检验，并以此作依据。有时还进行布氏硬度检验。如果检验合格，则认为该批铸件合格；如果不合格，允许再抽两根试样复验。复验结果要求两根试样全部合格才算通过，其中有一根不合格一根合格还是以不合格论。其他力学性能，除特殊要求外，一般不进行检验。

10. 可锻铸铁的化学成分

可锻铸铁的化学成分对铸件的铸造、热处理和最终的力学性能有密切的关系。在浇注铸件时必须得到纯白口组织，故希望成分中有适量阻碍石墨化的元素；但在退火热处理过程中，希望它有适当的数量促进石墨化元素，以利于石墨化过程，缩短退火周期。由此可知，可锻铸铁的化学成分必须严格控制在一定的范围内。

可锻铸铁的化学成分，除C、Si、Mn之外，还有不少合金元素及稀有元素，这些合金元素对石墨化的作用分成两类：促进石墨化的元素有：C、Si、Al、Ni、Cu、P、Ti等；阻碍石墨化的元素

有：Mn、S、W、Mo、Cr、V、Mg、B、Bi、Sb 等。

这些合金元素在可锻铸铁中的种类及数量，对铸造及热处理后的组织和性能影响很大。可锻铸铁是一种复杂的铁碳合金，其中合金元素除单独作用外，还存在元素与元素之间的相互作用及铋、锑、铝等微量元素的作用。所以对待合金元素的作用问题必须综合考虑。表 5.4-1 为常用可锻铸铁的化学成分范围。

表 5.4-1　常用可锻铸铁的化学成分范围

类　别		黑心可锻铸铁	珠光体可锻铸铁	白心可锻铸铁
化学成分（质量分数,%）	C	2.4～2.7	2.3～2.8	2.8～3.4
	Si	1.4～2.2	1.4～1.8	0.3～1.0
	S	≤0.25	≤0.25	≤0.25
	P	≤0.15	≤0.15	≤0.2
	Mn	0.4～0.75	0.4～1.2	0.2～0.8
	Cr	≤0.06	<0.2	<0.1
	Al	0.005～0.01	—	—

在可锻铸铁的化学成分中，下列两组元素的总含量和相对比例影响特别大。

（1）碳和硅。这两个元素对可锻铸铁的铸造性、力学性能和石墨化的影响特大，所以应严格控制。通常 w（C+Si）为 3.6%～4.6%，生产厂根据铸件的厚薄决定其比例。对于薄件 C+Si 含量取上限值；厚件取下限值。在获得全白口坯件的前提下，薄件选用高碳、高硅，若考虑缩短退火时间及力学性能，可选用高硅、低碳。

（2）硫和锰。硫和锰单独在可锻铸铁中，都是强烈阻碍石墨化的元素。其中硫的作用更强烈。高硫铸件即使提高退火温度和延长退火时间，石墨化仍是非常困难的。

如果硫和锰的比例适当，在铁中形成 MnS 或（Mn、Fe）S 夹杂物起到晶核作用，中和了各自单独存在时阻碍石墨化的作用。根据计算，Mn 与 S 的质量比为 55/32 = 1.71。实际生产中，除锰硫之间中和作用，还要求有足够的锰溶解于基体中，以提高力学性能，故工厂中常用下列经验公式：$w(\mathrm{Mn}) = 1.71w(\mathrm{S}) + (0.2\% \sim 0.3\%)$

实践证明：可锻铸铁中 w(S) 小于 0.25% 时，采用上述经验公式调整 Mn 与 S 的质量比，可获得较好的效果。如果硫含量高时，w(Mn) 控制在小于 0.8%；硫含量低时，w(Mn) 控制在大于 0.4%，以利于铸件力学性能的改善。

11. 科研与生产的比较

在制定本标准过程中，发现我国在可锻铸件的科研方面并不落后于国外，有些地方已超过了国外水平。如新型可锻铸铁的研究项目有：粒状珠光体可锻铸铁、球墨可锻铸铁、贝氏体可锻铸铁、白心可焊可锻铸铁等。现已应用于生产的科研成果有：加铋孕育新工艺及 12t 以下退火炉采用锌气缩短退火周期新工艺等。

国产可锻铸铁产品的质量也不低于国外先进水平，因此，可锻铸铁件的外贸出口量相当可观。由于国外热处理设备以电加热周期炉和连续炉为主，在劳动强度、控制精度、环境保护等方面均有优势。随着我国热处理设备制造能力的提高和能源政策的调整，目前我国可锻铸铁的生产已完全能达到国际水平。（上海市机械制造工艺研究所有限公司梅志强供稿）。

三、标准内容（JB/T 7529—2007）

可锻铸铁热处理

1 范围

本标准规定了可锻铸铁热处理时对原材料、设备、工艺及品质检测等要求。

本标准适用于黑心可锻铸铁、珠光体可锻铸铁和白心可锻铸铁的热处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 228　金属材料　室温拉伸试验(GB/T 228—2002，eqv ISO 6892：1998)

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第1部分：试验方法[GB/T 231.1—2002，eqv ISO 6506-1：1999(E)]

GB/T 5611　铸造术语

GB/T 5612　铸铁牌号表示方法

GB/T 7232　金属热处理工艺术语(GB/T 7232—1999，neq DIN EN10052：1994，JIS B 6905：1995)

GB/T 9440　可锻铸铁件(GB/T 9440—1988，neq ISO 5922：1981)

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

JB/T 2122　铁素体可锻铸铁　金相

3 术语和定义

GB/T 5611 和 GB/T 7232 确定的术语和定义适用于本标准。

4 可锻铸铁的牌号及力学性能

4.1　可锻铸铁牌号的表示方法应符合 GB/T 5612 的规定。

4.2　黑心可锻铸铁和珠光体锻铸铁的牌号及力学性能应符合 GB/T 228 的规定（见表1）。

表1　黑心可锻铸铁和珠光体锻铸铁的牌号及力学性能

牌号		试样直径 d/mm	抗拉强度 R_m	屈服强度 $R_{p0.2}$	伸长率 A(%) $L_0=3d$	硬度 HBW
			MPa			
A	B①		不小于			
KTH300-06②		12或15③	300	—	6	大于150
	KTH330-08		330	—	8	
KTH350-10			350	200	10	
	KTH370-12		370	—	12	
KTZ450-06			450	270	6	150~200
KTZ550-04			550	340	4	180~230
KTZ650-02			650	430	2	210~260
KTZ700-02			700	530	2	240~290

① 牌号B系列为过渡牌号。

② 牌号KTH300-06适用于气密性零件。

③ 试样直径12适用于主要壁厚小于10mm的铸件。

4.3　白心可锻铸铁的牌号及力学性能应符合表2的规定。

表2　白心可锻铸铁的牌号及力学性能

牌　号	试样直径 d/mm	抗拉强度 R_m	屈服强度 $R_{p0.2}$	伸长率 A(%) $L_0=3d$	硬度 HBW
		MPa			
		不　小　于			不大于
KTB350-04	9 12 15	340 350 360	— — —	5 4 3	230
KTB380-12	9 12 15	320 380 400	170 200 210	15 12 8	200
KTB400-05	9 12 15	360 400 420	200 220 230	8 5 4	220
KTB450-07	9 12 15	400 450 480	230 260 280	10 7 4	220

注：白心可锻铸铁试样直径，应尽可能与铸件的主要壁厚相近。

5　热处理设备

5.1　退火炉

5.1.1　炉子有效加热区应按GB/T 9452测定，有效加热区内温度偏差值不大于±20℃。

5.1.2　加热炉内温度可调节，连续式炉应能调节输送速度。

5.1.3　燃料炉的火焰不能垂直喷射到退火箱或铸件上。

5.1.4　退火炉应设有光学高温计和热电偶的测温孔及试片限样孔，取样孔应设在抽取方便的位置。

5.1.5　退火炉应设有调节冷却速度的装置。

5.1.6　珠光体可锻铸铁退火时一般采用台车炉、罩式炉或连续炉。

5.2　温度测定和记录仪表

5.2.1　必须能满足各种退火工艺及炉膛不同位置的温度测定要求。

5.2.2　周期式退火炉应具备记录温度的装置；连续式退火炉的每个加热区都应具备这种装置。

5.2.3　测温用的热电偶及温度记录仪表必须定期校正。

5.3　鼓风和喷雾装置

5.3.1　鼓风装置的风量应能满足冷的要求。

5.3.2　喷雾装置的雾化程度应能满足冷却的要求。

5.4　退火箱

退火箱一般用白口铸铁、高铬铸钢或耐热钢板制造。

6　热处理

6.1　准备工作

6.1.1　原材料白口铸件的化学成分、形状、尺寸、质量、浇注情况及金相组织必须符合技术要求。不允许含游离石墨。

6.1.2 根据质量要求、装炉量及铸件的原始情况，制订相应的热处理工艺。

6.1.3 检查或清理所用的一切设备。

6.1.4 可锻铸铁退火时，一般需要装箱：

a）装箱时根据铸件形状、大小、质量等情况，按一定的要求进行，铸件之间要留有一定的间隙。

b）白心可锻铸铁的退火箱中要放置脱碳剂。使用固体脱碳剂时，箱盖与箱体之间用耐火泥密封。如采用脱碳气氛作加热介质时，则不必使用箱盖。

c）珠光体可锻铸铁退火箱不必密封。

d）每一炉次中根据需要放置一定数量的试样及炉前抽检试片。

6.1.5 装炉要求：

a）装有铸件的退火箱在炉内前后左右之间要有空隙、上下之间要有隔板，与炉顶及炉墙之间要有一定的距离。

b）炉前检验的试片和装有试样的退火箱，应放在炉内有代表性的位置。

c）采用周期式退火炉时，炉门应密封。

6.2 热处理工艺

6.2.1 升温时应采用合适的升温速度，可采取 1～2 次分段升温方式。

6.2.2 根据工艺及炉前试片决定保温时间：

a）黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁第一阶段石墨化的温度为 850～960℃；白心可锻铸铁为 930～1050℃。

b）第一阶段退火的保温时间，按退火工艺规定及炉前试片的断口色泽和形貌或金相组织石墨化程度而决定。

c）黑心可锻铸铁第二阶段石墨化退火从 760℃缓冷到 650℃。按工艺规定及炉前试片的断口色泽或金相组织，决定是否要延长保温时间。

6.2.3 根据生产可锻铸铁的种类决定冷却方式：

a）黑心可锻铸铁第一阶段结束后，要求迅速将炉温降至共析温度附近，然后随炉冷却，实施第二阶段石墨化退火。第二阶段结束后退火箱拉出炉外，并用鼓风或喷雾冷至 400℃以下。

b）珠光体可锻铸铁第一阶段结束后，工件即可出炉冷却。

c）白心可锻铸铁第一阶段结束后，随炉冷却到 650℃左右，然后出炉空冷。

6.3 热处理情况记录

应记录热处理过程中的必要事项，并保存备查。

7 珠光体可锻铸铁的进一步处理

根据性能要求，珠光体可锻铸铁还可以进行等温淬火、回火、感应淬火、火焰淬火等热处理。

8 品质检验

8.1 外观

用目测方法对铸件逐个检查外观，不允许有氧化皮剥落。

8.2 畸变

铸件的几何形状和尺寸均应符合技术要求，在热处理过程中产生的畸变可通过矫正的方法消除。矫正通常在室温下进行，特殊情况可采用热矫正。

8.3 力学性能

8.3.1 可锻铸铁的力学性能以试样的抗拉强度和伸长率作为验收依据，试样的力学性能应能符合表 1 和表 2 的规定。

8.3.2　对屈服强度和硬度有要求时，经供需双方协议应符合表1和表2的规定。
8.3.3　对其他性能（抗压、弯曲、扭转、冲击、弹性模量等）有要求时，应在订货时达成协议。
8.3.4　拉力拉伸试样及拉伸试验方法必须符合GB/T 9440的规定，试样的成分、铸造方法、厚度等均应能代表实际的铸件，并在相同的条件下进行。
8.3.5　硬度试验按GB/T 231.1进行，在试样或铸件所确定的位置测定硬度时，需除去表面1～2mm后进行。
8.4　金相检验
a）黑心可锻铸铁按JB/T 2122进行。其正常组织为铁素体+团絮状石墨。
b）珠光体可锻铸铁的正常组织为片状珠光体+团絮状石墨。
c）白心可锻铸铁的正常组织应符合GB/T 9440的规定。
8.5　破坏性检验
破坏性检验仅限于需方提出要求时进行，合格与否的判断标准由供需双方在订货时商定。
8.6　检验结果的评定、复检、修约
按GB/T 9440规定进行。
9　其他要求
标志和说明书、表面保护、包装、运输和贮存、验收和拒收等均按GB/T 9440规定进行。

第五节　灰铸铁件热处理

一、概论

灰铸铁件的应用很广泛，机床床身、管道、阀体、泵壳体等，这些工件的结构形状复杂、工件重量差别很大（从不足1kg到几吨），需要热处理的工艺种类很多，如石墨化退火、去应力退火、正火、淬火回火、等温淬火、表面淬火、渗氮、氮碳共渗、渗硫、渗硼等。

本标准制定于1995年，2007年又按照新的标准要求做了修订。

二、标准应用说明

1. 范围

本标准规定了灰铸铁件常用的石墨化退火、去应力退火、正火、淬火回火、等温淬火等的热处理设备要求、工艺要求和质量检验方法，对表面淬火、渗氮、氮碳共渗、渗硼、渗硫等，可参照相应钢件的标准，本标准没有规定。由于灰铸铁件结构形状复杂、重量差别大，不能做过于详细具体的规定，只能做一般指导性的规定，热处理工作者应根据工件具体情况和要求，结合一定的试验，针对具体产品制定更详细具体的措施，保证产品质量达到规定的要求。

2. 常用热处理工艺

（1）高温石墨化退火。目的是消除铸件的自由渗碳体，使自由渗碳体石墨化，降低铸件硬度，提高塑性和韧性，改善切削加工性能。一般以70～100℃/h的速度将铸件加热到900～960℃，保温1～4h，炉冷到300℃以下出炉空冷，或炉冷到720～760℃保温一定时间再炉冷到300℃出炉空冷，或空冷。获得的组织为铁素体+石墨，或铁素体+珠光体+石墨，或珠光体+石墨。

（2）低温石墨化退火。目的是使共析渗碳体石墨化和粒状化，降低铸件硬度，提高塑性和韧性，改善切削加工性能。原始组织为珠光体和石墨或珠光体、铁素体和石墨的铸铁，加热温度为650～750℃，保温，然后炉冷至室温，获得以铁素体为主的基体组织。硬度稍降低，塑性韧性提

高。

（3）去应力退火。由于铸件的壁厚不等，各部位冷却速度不同，在冷却过程中发生相变引起体积的变化，因而在铸件内产生应力。内应力的存在可导致铸件产生扭曲和裂纹，因此，对于不需要进行热处理的铸件，特别是形状复杂的铸件常常进行消除内应力的去应力退火。

去应力退火加热温度选择为500～620℃，提高加热温度可缩短保温时间，并能有效地消除内应力。但过高的加热温度，会使在消除应力的同时，可能发生部分渗碳体分解和粒化，使硬度降低，导致组织发生变化。保温时间的前2～3h消除内应力效果最显著，保温时间取决于加热温度、铸件的大小与复杂程度。保证铸件各部分均匀加热到所需温度，一般需要2～8h。根据铸件复杂程度，以20～50℃/h的速度随炉冷却，冷却到180～200℃以下，就可出炉在空气中冷却，最大程度软化，防止出现残余应力。

（4）完全奥氏体化正火。完全奥氏体正火又称高温正火、铸件加热到$A^{Z}c_1$以上（一般为900～940℃）获得珠光体为主的基体组织，能提高铸件强度、硬度与耐磨性。冷却速度从在静止空气中冷却到用大型鼓风机吹风。重型铸件与厚截面铸件需较快的冷却速度，同时希望均匀冷却。正火后铸件的硬度太高，需进行高温回火处理（一般为580～650℃），回火与消除应力同时进行。

（5）部分奥氏体化正火。部分奥氏体正火又称中温正火。铸铁加热到$A^{S}c_1$与$A^{Z}c_1$之间，采用空冷、雾冷，获得珠光体和铁素体的基体组织，提高其力学性能。

（6）完全奥氏体化淬火回火。铸件加热到$A^{Z}c_1$温度以上保温（一般为840～860℃），使基体全部转变为奥氏体后，出炉淬火，获得以马氏体为主的基体组织。马氏体形成所引起的体积膨胀和冷却造成的收缩将引起很大的内应力，它将导致翘曲、变形与开裂。对淬硬的铸铁要立即进行回火，降低残余应力及残留奥氏体量。根据不同硬度要求，采用不同回火温度对铸件进行回火。

（7）完全奥氏体化等温淬火。铸件加热到$A^{Z}c_1$温度以上保温，使基体全部转变成奥氏体后淬入$A^{Z}r_1$以下某一温度的恒温浴中（常用温度为280～320℃），减少铸件表面与中心部的温差。过冷奥氏体的等温转变产物为贝氏体，它也是铁素体和渗碳体的混合物。等温淬火能提高铸件综合性能铸铁的临界点不但受化学成分的影响，也受加热速度和冷却速度的影响。铸铁的临界温度范围一般为677～843℃，但实际的位置和范围的宽度，主要决定于硅和其他元素如锰、镍影响。当加热温度超过临界温度上限时则发生完全奥氏体化，加热温度进一步升高时，石墨表面层的一部分碳渗入奥氏体中，使奥氏体碳含量增加。加热温度提高，引起奥氏体晶粒的长大与石墨的聚集。

3. 热处理设备

本标准对灰铸铁件的热处理加热设备的保温精度、测温装置的误差做了规定。过去灰铸铁件的高温石墨化退火、低温石墨化退火、正火常用的热处理设备采用燃煤或燃油加热。这些设备通常都没有严格的温度控制，炉温均匀性通常大于±20℃。由于这些炉型能耗大，对环境污染大，工作环境差，燃煤、燃油炉已经大量淘汰，目前使用的通常为控温精度较好的燃气炉和电炉。按GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》的分类，±20℃为Ⅴ类炉，按AMS 2750D《高温测量法》分类，±14℃为5类炉，±28℃为6类炉。对大型铸件使用燃气加热的台车炉，炉温均匀性通常都能保证±20℃。

4. 热处理工艺

（1）热处理前的准备。根据待处理件的化学成分、牌号、原始组织和技术条件，采用相关标准制定铸铁件热处理工艺规程、操作注意事项。

（2）装炉。固定装载时，所有的铸件均有大致相同的重量和近似的截面厚度，应将薄件、小件和形状复杂件装在离热源较远处。炉子不要过载，要有宽敞的空间供围绕铸件的气体流通循环。垫铁位置架空距离不应过长，避免点线接触或交错架件。

（3）工艺规范

1）加热方式。可采用预热、低温随炉升温或规定加热温度装炉加热。

2）升温速度。以铸铁件厚度与结构复杂程度来选择升温速度。较厚部分或内腔均不如薄处或外部升温快，因此灰铸铁件升温速度要根据具体情况调整，以适应铸件的复杂性。按铸件重量、精密程度确定工艺规范，见表 5.5-1。

表 5.5-1　灰铸铁件去应力退火工艺规范

铸铁分类	铸件重量 /kg	装炉温度 /℃	升温速度 /（℃/h）	加热温度 /℃	保温时间 /h	冷却速度 /（℃/h）	出炉温度 /℃
一般铸件	<200	≤200	≤100	500～550	4～6	30	200
	200～2500	≤200	≤80	500～550	6～8	30	200
	>2500	≤200	≤60	500～550	8	30	200
精密铸件	<200	≤200	≤100	500～550	4～6	20	200
	200～2500	≤200	≤80	500～550	6～8	20	200

3）加热温度。由于铸铁硅含量相当高，作为铁-碳-硅三元合金其共析转变不是发生在水平线上，而是发生在一个相当宽的温度范围内。因此灰铸铁加热至相变点以上有一个温度范围，硅是主要元素，硅含量使铸铁的临界点提高，见表 5.5-2。工艺类型及炉温精度应符合标准中表 2 的要求。

表 5.5-2　两种灰铸铁的化学成分和相变温度

材料	化学成分（质量分数,%）							相变温度/℃		
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	$A^{S}c_1$	$A^{Z}c_1$	$A^{Z}r_1$
灰铸铁 1	2.83	2.17	0.50	0.08	0.13	—	—	775	830	723
灰铸铁 2	2.86	2.27	0.05	0.08	0.14	0.70	1.7	770	825	700

4）保温时间。由于铸铁件导热性差，组织不均，因此升温速度宜慢，保温时间一般比碳钢长。保温时间与铸铁原始组织中铁素体与珠光体的相对含量有关。铁素体多时，则时间适当延长。回火时间应根据铸铁件壁厚与装炉情况决定，一般比钢件回火时间适当延长。

5）冷却速度。退火冷却速度由铸件精度、装炉量和基体组织含量来决定，快速冷却时，复杂的形状铸件会造成残余应力，甚至开裂。正火可在静止空气中冷却或鼓风冷却，视冷却速度情况，应立即进行回火处理，在达到硬度要求的同时尽可能减少残余应力。灰铸铁件高的碳含量、硅含量以及较高的锰含量使灰铸铁件具有较高的淬透性，因此不用水淬，而采用气淬或油淬。等温淬火对提高灰铸铁件的综合性能减少铸件变形有利。等温淬火冷却介质温度一般为 280～320℃，等温后在空气中冷却，一般不必回火。

5. 热处理件质量检验

（1）表面质量。随着精密铸造程度的提高，热处理电炉及保护气氛的应用，铸件表面应干净，不允许有严重的氧化皮、锈蚀。

（2）力学性能。灰铸铁件正火、退火处理用布氏硬度检测，淬火、回火及等温淬火工件用洛氏硬度检测，拉伸试验按灰铸铁力学性能试验方法检测，此标准适用于常温静力条件下测定抗拉强度、抗弯强度、挠度等。

（3）金相组织。金相组织检验按 GB/T 7216《灰铸铁金相检验》进行。此标准适用于具有片状石墨的铸铁件，并确定了其组织的检查方法和检验项目。标准共分 11 个检验项目：石墨分布形

状，石墨长度，基体组织特征，珠光体片间距，珠光体数量，碳化物分布形状，碳化物数量，磷共晶类型，磷共晶分布形状，磷共晶数量，共晶团数量。

（4）畸变。因灰铸铁畸变后无法矫正。畸变量应在工件技术要求范围之内，不影响机械加工。工件畸变量超过允许值，应予以报废。

（5）探伤试验。表面裂纹及表面伤痕可采用目测检测，必要时，可用磁粉探伤、超声波探伤等方法检验内部质量。

（6）应力。铸件产生残余应力有以下三种原因：

1）表面冷却速度不同。同一截面上表面和内部冷却速度不同，因而产生温度梯度，导致造成残余应力。

2）截面不均匀。同一铸件的不均匀截面之间，由于冷却速度不同，而产生温度梯度，也造成残余应力。

3）铸型中的机械阻力。如果铸件设计或铸型材料造成限制或阻碍金属凝固，或冷却时正常的收缩，即使铸件具有均匀的截面，也会造成很大的内应力。

目前我国生产企业绝大多数采用低温去应力退火，也有采用振动时效去除残余应力的。振动时效是高效节能的新工艺，其主要特点是在共振过程中，施加在工件各部位的动应力与工件内部残余应力叠加，工件在残余应力的高峰值处产生局部屈服，引起微小塑性变形，使工件内部残余应力峰值降低，并使残余应力重新分布。根据铸件质量要求可进行贴应变片测定残余应变值。[爱协林热处理系统（北京）有限公司段汉奇供稿]

三、标准内容（JB/T 7711—2007）

灰铸铁件热处理

1 范围

本标准规定了灰铸铁件的热处理设备、工艺及品质检验方法。

本标准适用于灰铸铁件的退火、正火、回火及等温淬火热处理工艺。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（GB/T 230.1—2004，ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第1部分　试验方法（GB/T 231.1—2002，eqv ISO 6506：1999（E））

GB/T 7216　灰铸铁金相（GB/T 7216—1987，neq ISO 945：1975）

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

JB/T 7945　灰铸铁　力学性能试验方法

3 热处理工艺的应用

3.1　高温石墨化退火用于基体组织中含有较多共晶渗碳体的铸件，以降低硬度，改善切削加工性。

3.2　低温石墨化退火用于铸件硬度过高，基体组织中没有共晶渗碳体，要求具有高塑性和高韧性的铸件。

3.3　去应力退火用于降低铸造、铸件焊接、机械加工等残余应力，保证铸件尺寸稳定。
3.4　完全奥氏体化正火用于铁素体量过多、硬度较低的灰铸铁，提高铸件强度。
3.5　部分奥氏体化正火用于相对均匀，且要求具有一定强度和韧性的铸件。
3.6　完全奥氏体化淬火、回火用于采用不同回火温度的基体组织，提高铸件强度、硬度和耐磨性。
3.7　完全奥氏体化等温淬火用于获得贝氏体基体组织，提高铸件强度、硬度和耐磨性。
3.8　表面淬火用于提高铸件强度、表面硬度和耐磨性。
3.9　化学热处理用于获得铸件表面特殊物理、化学和力学性能。

4　热处理设备

4.1　加热设备

4.1.1　采用燃气、燃油、燃煤与电阻加热炉。根据铸件生产要求，也可采用无氧化加热设备、可控气氛加热炉与连续作业炉。

4.1.2　燃料加热炉的火焰不能直接接触铸件，可控气氛加热炉应能调节和控制炉内气氛。连续作业炉应能调节输送速度，以使铸件在炉内保持必要的加热时间。

4.1.3　热处理炉保温精度应满足工艺要求。有效加热区测定方法按 GB/T 9452 规定执行。

4.2　温度测定和记录仪表

4.2.1　热处理加热和冷却设备应配有测温、控温和自动记录装置。

4.2.2　测温装置总误差不得超过表 1 规定。

表　1　（单位：℃）

预定温度	≤400	>400
温度指示总误差	±4	±（T/100）

注：T 为加热温度。

4.2.3　热电偶和炉温仪表应定期校验并保存有关记录。

4.3　冷却设备和冷却介质

4.3.1　冷却设备应保证处理件各部位均匀冷却。用于退火、正火热处理炉应有降温孔和鼓风冷却等快冷装置。

4.3.2　鼓风装置的风量和喷雾装置的喷雾量，应能满足冷却的要求。

5　热处理工艺

5.1　热处理前的准备

5.1.1　宏观检测热处理件外观、几何形状和尺寸，不得有气孔、缩孔、疏松、裂纹等缺陷。

5.1.2　根据待处理件的化学成分、牌号、原始组织和技术要求，制订铸铁件热处理工艺规程及操作注意事项。

5.1.3　检查加热、通风、起重等设备及测温仪表等完好情况，如发现故障，应及时采取措施。

5.2　装炉

5.2.1　在有效加热区内装炉，试棒应随同一炉次铸件放在规定位置。

5.2.2　同一炉次热处理的铸件，牌号、壁厚应相近，应将薄件、小件和形状复杂的工件装在离热源较远处。

5.2.3　装炉量不应过载，要有良好均匀的气体循环。铸件分层装载应平稳，垫铁位置架空距离不应过长，避免点、线接触或交错架件。

5.3　工艺规范

5.3.1　加热方式

可采用预热，低温随炉升温或规定加热温度装炉加热。

5.3.2　升温速度

以铸件厚薄和结构复杂程度来选择升温速度，结构复杂的铸件升温速度尽可能小些，对于一般实体或形状简单的铸件，升温速度尽可快些。

5.3.3　加热温度

根据铸件的牌号、铸态组织、工件形状、尺寸和工艺方法等因素来确定具体加热温度，参照附录 A（资料性附录）。工艺类型、保温精度应符合表 2 的规定。

表　2　　（单位：℃）

工　艺　类　型	保温精度	工　艺　类　型	保温精度
高温石墨化退火	±20	部分奥氏体化正火	±15
低温石墨化退火	±15	完全奥氏体化淬火	±15
去应力退火	±20	回火	±15
完全奥氏体化正火	±20	完全奥氏体化等温淬火	±10

5.3.4　保温时间

必须保证铸件各部分均匀加热到所需温度，使组织均匀化，保温时间与铸铁牌号、壁厚、装炉量等有关。

5.3.5　冷却速度

退火冷却速度由铸件精度、装炉量和基体组织含量来决定。高精度铸件尽量慢冷，正火可在静止空气冷却或鼓风冷却。重型铸件和厚壁铸件需较快的均匀冷速。铸件淬火一般用油冷。等温淬火介质温度一般为 280～320℃，等温后在空气中冷却一般不必回火。

5.3.6　出炉

退火出炉温度在 250～180℃以下，大型铸件及复杂件出炉温度应低些。出炉铸件温度在没降到室温之前，不得受雨水、雪及水的浸淋。出炉后的铸件应放平稳，对于小块铸件可以堆放。热处理后铸件必要时可以进行去氧化皮。

5.4　表面热处理

HT250、HT300、HT350 灰铸铁根据性能要求，可进行火焰淬火、感应淬火、电接触淬火等表面处理。

5.5　记录

应记录热处理工艺过程中必要事项，并保存备查。

6　热处理件品质

6.1　表面品质

用目测方法进行品质检查，铸件表面应干净，不允许有严重的氧化皮、锈蚀。

6.2　力学性能

6.2.1　硬度测定可在铸件或同炉代表性试棒上进行，硬度试验应符合 GB/T 230.1、GB/T 231.1 规定。

6.2.2　拉力试验应符合 JB/T 7945 的相关规定。若需要作其他性能（如弯曲、冲击）试验，供需双方必须在热处理前商定。

6.3　金相组织

金相检验按 GB/T 7216 规定执行。

6.4　畸变

畸变量应在工件技术要求范围之内，不影响机械加工与使用。

6.5　无损检测

表面裂纹及表面伤痕可采用目测，必要时可用磁粉检测。用超声波等方法检验内部品质。

6.6　应力

根据铸件品质要求可进行贴应变片测定残余应变值。

7　处理件的材料

处理件检验合格后，要作合格标记，应标明灰铸铁牌号、热处理状态、件号、名称等。

附　录　A

（资料性附录）

灰铸铁件热处理工艺温度

灰铸铁件热处理工艺温度见表 A.1。

表　A.1　（单位：℃）

工艺方法	退火			正火		淬火	回火	等温淬火
	高温石墨化退火	低温石墨化退火	去应力退火	完全奥氏体化正火	部分奥氏体化正火	完全奥氏体化淬火	高温、中温、低温回火	完全奥氏体化等温淬火
工艺温度	A^Zc_1 +（50～100）	A^Sc_1 −（30～50）	常用温度（520～560）	A^Zc_1 +（50～60）	A^Sc_1 − A^Zc_1 之间	A^Zc_1 +（30～50）	高温回火 500～600 中温回火 350～500 低温回火 140～250	A^Zc_1 +（30～50） 常用等温淬火温度（280～320）

第六节　铸造铝合金热处理

一、概论

铝合金具有密度小、比强度高、导热性好、耐蚀性好、易成形、价格较低等优点，广泛用于航空航天、交通运输、轻工建材、通信电子等行业。铸造铝合金由于工艺性好、成本低、能耗小、适应性强等特点，应用范围越来越广泛。

为适应铸造铝合金日益扩大应用趋势，世界各国都很注重铸造铝合金热处理标准的制定。工业发达国家都有相应的标准。例如，美国有汽车工程师协会标准宇航材料规范 AMS-H-6088C（2000年版）《铝合金热处理》，AMS 2771C（2004 版）《铝合金铸件热处理》；俄罗斯有 ГОСТ 1583—1989《铸造铝合金技术条件》、ГОСТ 190088—1980《铸造铝合金热处理制度》等。在我国尚没有关于铸造铝合金热处理方面的国家标准，只有关于铸造铝合金方面的标准，如 GB/T 9438《铝合金铸件》、GB/T 1173《铸造铝合金》。因此，应制定铸造铝合金热处理国家标准，与铸造铝合金铸件标准配套，以指导铸造铝合金生产，适应国民经济对铸造合金日益广泛的需求。

GB/T 25745《铸造铝合金热处理》在制定过程中，遵从了内容全面、技术先进、实用性强、数据限值可靠的编制原则。

根据各企业的发展需求和实际生产的需要，本标准明确了铸造铝合金热处理的概念，规定了铸造铝合金热处理的使用范围。根据铸造铝合金热处理的最新发展情况，明确了铸造铝合金的热处理状态、工艺规范、设备技术要求和质量控制等条款内容。明确了设备本身防止突发事件时的安全措

施及安全防护内容。

二、标准应用说明

1. 标准名称和适用范围

本标准名称采用《铸造铝合金热处理》，主要与 GB/T 1173《铸造铝合金》协调，其内容包括的铸造铝合金牌号一一对应。本标准适用于铸造铝合金工件热处理，其中工件是指铸件、粗加工件、精加工件。

2. 加热设备

（1）加热设备对铸造铝合金热处理至关重要。首先要求保证炉温均匀性≤±5℃，因为铸造铝合金性能对加热温度很敏感，加热温度过高或过低可能使性能不能满足要求，固溶处理温度过高可能使合金过烧，甚至熔化。其次要求采取设置隔热屏和加大炉气循环等措施，防止直接对工件辐射加热。至于加热炉可用电阻炉也可以用燃料炉，燃料炉应采用燃烧气体或燃气辐射管加热，要防止火焰直接对工件加热。这与美国标准 AMS-H-6088C 相符，符合我国铸造铝合金热处理情况，低于 GJB 1695 的要求。

（2）加热炉每一个加热区应有两支热电偶。一支接温度控制仪和报警装置，放置在加热器附近；另一支接温度记录仪，放置在尽量接近有效加热区的位置。这是为防止“跑温”，引起过烧。

（3）温度控制系统还要定期进行系统校验，保证热电偶—补偿导线—仪表组成的温度系统不引起偏差累加，造成系统温差过大，影响控制精度。

3. 淬火槽

（1）淬火装置和淬火操作要保证淬火转移时间≤25s。淬火转移时间规定是从炉门开启到铸件全部进入淬火冷却介质中的时间。这是因为淬火转移慢时，在淬火转移时间内就可能产生析出相，影响工件的性能。

（2）淬火槽要有良好循环搅拌和冷却装置及测温装置，以保证淬火均匀性。淬火槽根据淬火冷却介质要求可以配置加热装置，以保证淬火冷却介质处于良好工作状态。

（3）淬火冷却介质，特别是有机淬火冷却介质要定期检查和更换。

4. 热处理制度

（1）标准中表 5 所列热处理制度的数据引自 GJB 1695 和 GB/T 1173。材料牌号与 GB/T 1173 一致，共 26 个，其中 24 个牌号和热处理制度引自 GJB 1695，另 3 个牌号和热处理制度引自 GB/T 1173，ZL110 T1 热处理引自 QJ 1703A。

（2）冷热循环处理（T9）是铝合金热处理特有的，实践证明，对精密铝合金零件有主要作用，在我国和世界各国均是如此称呼。为使其更通俗，在术语中增加了相关术语加以说明。

5. 质量控制和检验

（1）质量控制和检验分为两节，两者之中强调加强质量控制更为重要。

（2）质量控制包括对人员要求、设备控制、热处理过程控制和记录。人员要求各类人员按规定进行培训，考核合格，持证上岗。设备和过程控制要求按本标准有关章节规定执行。记录是质量控制的主要内容，强调质量记录的完整性、真实性和有效性，同时规定了归档和保存期，以便于质量的可追溯性。

（3）检验包括外观检验、渗透检验、力学性能、金相检验。每种检验都规定了要求和相应的检验方法。

6. 安全卫生和环境保护

安全和节能减排是热处理生产重要内容，要从热处理全过程每一个环节抓起。首先要执行通用

的国标 GB 15735、GB 5959.1、GB 5959.4、GB/T 12348、GB/T 12349 等规定，同时结合本标准特点，对热处理设备、热处理工艺过程等做了补充规定。

7. 预期达到的经济、社会效益

铸造铝合金作为非铁金属材料，由于其密度小、比强度高等特点，广泛地应用于航空航天、汽车、机械等行业。随着现代工业和铸造新技术的发展，对铸造铝合金需求量越来越大。从 20 世纪 80 年代开始到现在，日本铝铸件产量一直保持着年递增 10% 以上的高增长率。又以汽车工业为例，由于要降低能耗，汽车减重的需求，各国广泛地采用铝等非铁合金铸件代替钢铁铸件。目前为止，每辆轿车铝合金零部件的重量已超过 300kg，而通过热处理技术，可以增强其耐蚀性等性能，改善其可锻性，获得尺寸的稳定性。

该标准的制定，将有力地促进我国铸造铝合金热处理的工艺水平的提高，为国家节约巨额的技术采购成本，提升了自主品牌的铸造铝合金技术，推动为相关行业材料技术的革新与进步。（江苏丰东热技术股份有限公司向建华供稿）

三、标准内容（GB/T 25745—2010）

铸造铝合金热处理

1　范围

本标准规定了铸造铝合金热处理状态、热处理设备、热处理工艺、质量控制与检验、安全卫生和环境保护要求。

本标准适用于铸造铝合金工件热处理。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议和各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 228　金属材料　室温拉伸试验方法

GB/T 231.1　金属材料　布氏硬度试验　第 1 部分：试验方法

GB/T 1173　铸造铝合金

GB 5959.1　电热装置的安全　第 1 部分：通用要求

GB 5959.4　电热设备的安全　第 4 部分：对电阻加热装置的特殊要求

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB 12348　工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 13324　热处理设备术语

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 16839.2　热电偶　第 2 部分：允差

GB/T 18851.1　无损检测　渗透检测　第 1 部分：总则

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324 确定的以及下列术语和定义适用于本标准。

冷热循环处理　cold-heat circulating treatment

铸造铝合金工件通过室温以上某个温度加热保持并空冷的正温处理，室温以下某个温度冷却保

持并回复至室温的负温处理，加再次室温以上某个温度加热保持并炉冷的正温处理，以提高其尺寸稳定性。

4 分类

4.1 铸造铝合金热处理状态代号按 GB/T 1173 铸造铝合金的规定，特性见表 1。

表 1 铸造铝合金热处理状态的类别代号及特性

热处理状态类别	热处理状态代号	特性
人工时效	T1	对湿砂型、金属型特别是压铸件，由于固溶冷却速度较快有部分固溶效果，人工时效可提高强度、硬度，改善切削加工性能
退火	T2	消除铸件在铸造和加工过程中产生的应力，提高尺寸稳定性及合金的塑性
固溶处理加自然时效	T4	通过加热、保温及快速固溶冷却实现固溶，再经过随后时效强化，以提高工件的力学性能，特别是提高工件的塑性及常温抗腐蚀性能
固溶处理加不完全人工时效	T5	时效是在较低的温度或较短的时间下进行，进一步提高合金的强度和硬度
固溶处理加完全人工时效	T6	时效在较高温度或较长时间下进行，可获得最高的抗拉强度，但塑性有所下降
固溶处理加稳定化处理	T7	提高铸件组织和尺寸稳定性及合金的抗腐蚀性能，主要用于较高温度下工作的零件，稳定化温度可接近于铸件的工作温度
固溶处理加软化处理	T8	固溶处理后采用高于稳定化处理的温度进行处理，获得高塑性和尺寸稳定性好的铸件
冷热循环处理	T9	充分消除铸件内应力及稳定尺寸。用于高精度铸件

4.2 铸件的热处理状态应在图样中注明。

5 热处理设备

5.1 加热设备

5.1.1 铸造铝合金热处理一般应采用带风扇的空气循环电阻加热炉，也可以使用燃料炉，用燃烧产生的气体或燃气辐射管加热，禁止火焰直接加热，采用设置隔热屏等措施，防止直接对工件加热。

5.1.2 加热炉应采用Ⅰ、Ⅱ类炉，其控温精度、仪表精度和记录纸刻度等要求如表 2 所示。

表 2 加热炉技术要求

加热炉类别	有效加热区保温精度/℃	控温精度/℃	记录仪表指示精度(%)	记录纸刻度(分辨力)/(℃/mm)
Ⅰ	±3	±1	0.2	≤2
Ⅱ	±5	±1.5	0.5	≤4

注：允许用修改量程的方法提高分辨力。

5.1.3 加热炉的每个加热区至少有两支热电偶，一支接记录仪表安放在接近有效加热区，另一支接控温仪表。其中一个仪表应具有报警功能。

5.1.4 每台加热炉必须定期检测有效加热区，检测周期见表 3，检测方法按 GB/T 9452 规定，其保温精度应符合表 2 要求。应在明显位置悬挂带有有效加热区示意图的检验合格证。加热炉只能在有效加热区检验合格证规定的有效期内使用。

表 3 加热炉有效加热区检测周期及仪表检定周期 （单位：月）

加热炉类别	有效加热区检测周期	仪表检定周期
Ⅰ	1	3
Ⅱ	6	6

5.1.5 现场使用的温度测量系统，在正常使用状态下定期做系统校验。校验时，检测热电偶与记录仪表热电偶的热端距离应靠近。校验应在加热炉处于热稳定状态下进行。系统校验允许温度偏差为 ±1℃。当超过该温度偏差时，应查明原因排除或进行修正。

5.2 温度控制设备

5.2.1 现场检测设备的精度应高于被检测设备的精度。

5.2.2 现场使用的控温和记录仪表等级应符合表 2 要求，检定周期按表 3 执行。

5.2.3 现场系统校验的标准电位差计精度应不低于 0.05 级，分辨率不低于 1mV，检定周期为 6 个月。

5.2.4 测量室温用的水银温度计，分辨率 0.1℃，检定周期为 1 年。

5.2.5 热电偶应符合 GB/T 16839.2 的规定，现场常用的热电偶技术要求见表 4。

表 4 现场常用的热电偶技术要求

名称	分度号	等级	使用温度/℃	允许偏差/℃	检定周期/月
检测镍铬-镍硅热电偶	K	Ⅰ等标准	0 ~ 400	±1.6	3
			400 ~ 1100	±0.47% t	
镍铬-镍硅	K	Ⅱ	−40 ~ 333	±2.5	6
		Ⅱ	333 ~ 1200	±0.75% t	
铜-康铜	T	Ⅱ	−40 ~ +350	±1.0 或 ±0.75% t	6
		Ⅲ	−200 ~ +40	±1.0 或 ±1.5% t	
镍铬-康铜	E	Ⅰ	−40 ~ 800	±1.5 或 ±0.4% t	6
		Ⅱ	−40 ~ +900	±2.5 或 ±0.75% t	

注：1. t 为测量温度（℃）。
2. 允许按实际需要缩短检定周期。

5.3 固溶冷却槽

5.3.1 固溶冷却槽应尽量设在紧靠加热炉的位置，以保证加热铸件快速浸入固溶冷却槽，固溶冷却转移时间应符合表 5 规定。

5.3.2 固溶冷却槽应有足够容量，保证固溶冷却铸件全部浸入固溶冷却介质中的同时能迅速固溶冷却。

5.3.3 固溶冷却槽应设有冷却循环和搅拌装置及温度测量装置，必要时可配置加热装置，以保证冷却介质温度及其均匀性。

5.3.4 固溶冷却槽应备有槽盖，固溶冷却槽中的冷却介质应根据需要定期检验更换。

6 热处理工艺

6.1 热处理前的准备

6.1.1 对加热炉、温度控制设备、固溶冷却槽等的状况进行使用前的检查，确保设备完好。

6.1.2 清理铸件表面油污及脏物，保持入炉前铸件干净。

6.1.3　对容易产生畸变的铸件，应配置专用的热处理工装夹具。

6.1.4　检查工艺文件及工装夹具，确保齐全。

6.2　装炉

6.2.1　按合金牌号、铸件几何尺寸和热处理制度分类装炉。

6.2.2　铸件应装在加热炉有效工作区内。

6.2.3　铸件装炉时不应密集堆放，各铸件之间、框架各层之间、铸件与隔热屏之间均应留有适当的空间，以防止变形，获得满意的加热和固溶冷却效果。

6.2.4　检查铸件力学性能的单铸或附铸试样，应与同熔炼炉批的铸件同炉热处理。

6.3　热处理制度

6.3.1　铝合金铸件固溶处理的温度应符合表5规定。

表5　铸造铝合金热处理制度

序号	合金牌号	合金代号	热处理状态	固溶处理				时效处理		
				温度/℃	保温时间/h	冷却介质及温度/℃	最长转移时间/s	温度/℃	保温时间/h	冷却介质
1	ZAlSi7Mg	ZL101	T2	—	—	—	—	290～310	2～4	空气或随炉冷
			T4	530～540	2～6	60～100，水	25	室温	≥24	—
			T5	530～540	2～6	60～100，水	25	145～155	3～5	空气
			T6	530～540	2～6	60～100，水	25	195～205	3～5	空气
			T7	530～540	2～6	60～100，水	25	220～230	3～5	空气
			T8	530～540	2～6	60～100，水	25	245～255	3～5	空气
2	ZAlSi7MgA	ZL101A	T4	530～540	6～12	60～100，水	25	—	—	空气
			T5	530～540	6～12	60～100，水	25	室温 再150～160	不少于8 2～12	空气
			T6	530～540	6～12	60～100，水	25	室温 再175～185	不少于8 3～8	空气
3	ZAlSi12	ZL102	T2	—	—	—	—	290～310	2～4	空气或随炉冷
4	ZAlSi9Mg	ZL104	T1	—	—	—	—	170～180	3～17	空气
			T6	530～540	2～6	60～100，水	25	170～180	8～15	
5	ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	T2	—	—	—	—	175～185	5～10	空气
			T5	520～530	3～5	60～100，水	25	170～180	3～10	
			T7	520～530	3～5	60～100，水	25	220～230	3～10	
6	ZAlSi5Cu1MgA	ZL105A	T5	520～530	4～12	60～100，水	25	155～165	3～5	空气
7	ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	T1	—	—	—	—	175～185	3～5	空气
			T5	510～520	5～12	60～100，水	25	145～155	3～5	
			T6	510～520	5～12	60～100，水	25	170～180	3～10	
			T7	510～520	5～12	60～100，水	25	225～235	6～8	
8	ZAlSi7Cu4	ZL107	T6	510～520	8～10	60～100，水	25	160～170	6～10	空气

（续）

序号	合金牌号	合金代号	热处理状态	固溶处理				时效处理		
				温度/℃	保温时间/h	冷却介质及温度/℃	最长转移时间/s	温度/℃	保温时间/h	冷却介质
9	ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	T1	—	—	—	—	190～210	10～14	空气
			T6	510～520	3～8	60～100，水	25	175～185	10～16	
			T7	510～520	3～8	60～100，水	25	200～210	6～10	
10	ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	T1	—	—	—	—	200～210	6～10	空气
			T6	495～505	4～6	60～100，水	25	180～190	10～14	
11	ZAlSi15Cu6Mg	ZL110	T1	—	—	—	—	195～205	5～10	空气
12	ZAlSi9Cu2Mg	ZL111	T6	分段加热 500～510 再530～540	4～6 6～8	60～100，水	25	170～180	5～8	— 空气
13	ZAlSi7Mg1A	ZL114A	T5	530～540	4～6			155～165	4～8	空气
			T8	530～540	6～10	60～100，水	25	160～170	5～10	
14	ZAlSi8MgBe	ZL115	T4	535～545	10～12			室温	≥24	—
			T5	535～545	10～12	60～100，水	25	145～155	3～5	空气
15	ZAlSi8MgBe	ZL116	T4	530～540	8～12			室温	≥24	
			T5	530～540	8～12	60～100，水	25	170～180	4～8	空气
16	ZAlCu5Mn	ZL201	T4	分段加热 525～535 再535～545	5～9 5～9	60～100，水		室温	≥24	—
			T5	分段加热 525～535 再535～545	5～9 5～9	60～100，水	20	170～180	3～5	空气
17	ZAlCu5MnA	ZL201A	T5	530～540 再540～550	7～9	60～100，水	20	155～165	6～9	空气
18	ZAlCu4	ZL203	T4	510～520	10～16	60～100，水	25	室温	≥24	—
			T5	510～520	10～15	60～100，水	25	145～155	2～4	空气
19	ZAlCu5MnCdA	ZL204A	T6	533～543	10～18	室温～60，水	20	170～180	3～5	空气
20	ZAlCu5MnCdVA	ZL205A	T5	533～543	10～18	室温～60，水	20	150～160	8～10	空气
			T6	533～543	10～18	室温～60，水	20	170～180	4～6	
			T7	533～543	10～18	室温～60，水	20	185～195	2～4	
21	ZAlRE5Cu3Si2	ZL207	T1	195～205	5～10	195～205	5～10	195～205	5～10	空气
22	ZAlMg10	ZL301	T4	425～435	12～20	沸水或 50～100油	25	室温	≥24	—
23	ZAlMg5Si1	ZL303	T1	—	—	—	—	170～180	4～6	空气
			T4	420～430	15～20	沸水或 50～100油	25	室温	≥24	

（续）

序号	合金牌号	合金代号	热处理状态	固溶处理				时效处理		
				温度/℃	保温时间/h	冷却介质及温度/℃	最长转移时间/s	温度/℃	保温时间/h	冷却介质
24	ZAlMg8Zn1	ZL305	T4	分段加热 430～440 再425～435	8～10 6～8	沸水或 50～100油	25	室温	≥24	—
25	ZAlZn11Si7	ZL401	T1	—	—	—	—	195～205	5～10	空气
26	ZAlZn6Mg	ZL402	T1	—	—	—	—	175～185	8～10	空气

6.3.2　时效处理的温度及固溶和时效处理保温时间一般按表5规定。也可根据铸件的化学成分、铸造方法、铸件壁厚和力学性能要求等因素调整，一般含镁或含铜量较高或大截面的铸件，可取较长的保温时间和较低的时效温度。

6.3.3　同一热处理炉次中装有不同厚度的铸件时，应按最大厚度确定加热保温时间。保温时间从加热设备工作区温度最低一只记录热电偶达到规定温度下限时开始计算。

6.3.4　铸件固溶处理应在低于处理温度下进炉，其升温速度一般小于200℃/h或采取阶段加热。

6.3.5　固溶冷却介质，一般可采用表5中规定的水，对于形状复杂容易产生畸变和裂纹的铸件，可在沸水或热油中固溶冷却。

6.3.6　为得到满意的固溶处理效果，应尽量缩短固溶冷却转移时间，要求固溶冷却前充分做好准备工作，铸件从炉门开启到完全浸入固溶冷却介质中的时间一般不超过表5的规定。

6.3.7　铸件在固溶冷却介质中停留的时间，以铸件最大厚度为确定依据，但不应少于2min。

6.3.8　对于尺寸精度和尺寸稳定性有较高要求的铸件可按表6规定进行冷热循环处理（T9），具体工艺如下：

a）对有较高精度要求的铸件，在固溶处理或时效处理后进行粗加工，按照表6的制度1进行冷热循环处理后再精加工。

b）对于尺寸稳定性有更高要求的铸件，可将其于固溶处理或时效处理后进行粗加工，按照表6的制度1进行冷热循环处理后进行半精加工，半精加工后再按照表6的制度2进行冷热循环处理后进行精加工。

表6　冷热循环处理制度

制度号	制度名称	温度/℃	时间/h	冷却方式
1	正温处理	135～145	4～6	空冷
	负温处理	≤－50	2～3	在空气中回复到室温
	正温处理	135～145	4～6	随炉冷至≤60℃取出空冷
2	正温处理	115～125	6～8	空冷
	负温处理	≤－50	6～8	在空气中回复到室温
	正温处理	115～125	6～8	随炉冷至室温

6.3.9　固溶处理时因故中断加热，在短时间内不能恢复工作时，已达到固溶处理温度的铸件应进行固溶冷却；未达到固溶处理温度的铸件可以进行空冷。再次装炉热处理保温时间一般与第一次保温时间累计计算，其点保温时间可延长。

6.3.10　时效处理时因故中断保温，在短时间内不能恢复工作时，应出炉空冷。再次进炉热处理的保温时间可与中断前的保温时间累计计算，其有效保温时间应等于或稍长于原来规定的保温时间。
6.3.11　铸造铝合金热处理后的力学性能参见附录A。
6.4　重复热处理
6.4.1　当铸件热处理后力学性能不合格时，可进行重复热处理，重复热处理的保温时间可酌情减少，固溶处理重复次数一般不超过二次，时效处理重复次数不受限制。
6.4.2　固溶处理为分段加热的铸件，在重复热处理时，固溶处理已加热温度可以不采用分段加热工艺。

7　质量控制与检验

7.1　质量控制
7.1.1　人员要求
热处理操作人员、仪表员、检验员应按规定进行培训，经过考核取得合格证后方可上岗。
7.1.2　热处理过程控制
7.1.2.1　待处理件控制
确认铸件热处理前的所有工序全部按工艺文件的要求进行完毕。
7.1.2.2　设备控制
设备应根据本标准有关要求进行检查确认，并应有合格标识。
7.1.2.3　工艺过程控制
工艺过程按本标准有关要求检查确认，加热温度、保温时间、固溶冷却转移时间、冷却介质温度等工艺参数应确保符合工艺文件要求，操作过程和品质符合要求。
7.1.3　记录
a）每台加热炉应备有专门的记录，内容包括：
1）炉子编号和类型；
2）使用温度范围；
3）温度均匀性检查周期及结果；
4）热电偶的编号及位置；
5）大修后的状况等。
b）在完成热处理及检验后，操作人员及检验员应填写工艺流程卡、热处理生产记录卡和热处理记录图表，并签名或盖章，应注明异常情况。
c）所有原始记录应随铸件一同交检，最后归档，归档原始记录按规定保存期保存完好。
7.2　检验
7.2.1　外观检验
热处理后的铸件应无裂纹、表面起泡、氧化变黑和变形。
外观检查采用目视（或使用10倍以下放大镜）观察。
7.2.2　渗透检验
渗透检查应无表面裂纹。
渗透检验按GB/T 18851.1或其他相应的标准进行。
7.2.3　力学性能
力学性能应符合图样或相应技术文件的规定，参见附录A。
拉伸试验按GB/T 228进行；布氏硬度试验按GB/T 231.1进行。
7.2.4　金相检验

热处理后的金相组织不允许存在过烧组织。

金相检查项目及要求由供需双方确定。

8 安全卫生及环境保护要求

8.1 设备、生产过程、安全卫生等应符合 GB 15735、GB 5959.1、GB 5959.4、GB 12348 等有关规定。

8.2 整条生产线运行中所有相关动作都应设置电气安全联锁装置和相关程序互锁，特别是炉内循环搅拌和加热互锁；固溶冷却槽搅拌和工件固溶冷却互锁；工件转移动作和炉门、升降机动作互锁、加热元件损坏与停电保护等。

附 录 A

（资料性附录）

铸造铝合金热处理后力学性能

A.1 铸造铝合金热处理后力学性能见表 A.1。

表 A.1 铸造铝合金热处理后力学性能

序号	合金牌号	合金代号	铸造方法	合金状态	力学性能 不低于		
					抗拉强度/MPa	伸长率（%）	布氏硬度 HBW（5/250/30）
1	ZAlSi7Mg	ZL101	S、R、J、K	T2	135	2	45
			JB	T4	185	4	50
			S、R、K	T4	175	4	50
			J、JB	T5	205	2	60
			S、R、K	T5	195	2	60
			SB、RB、KB	T5	195	2	60
			SB、RB、KB	T6	225	1	70
			SB、RB、KB	T7	195	2	60
			SB、RB、KB	T8	155	3	55
2	ZAlSi7MgA	ZL101A	S、R、K	T4	195	5	60
			J、JB	T4	225	5	60
			S、R、K	T5	235	4	70
			SB、RB、KB	T5	235	4	70
			JB、J	T5	265	4	70
			SB、RB、KB	T6	275	2	80
			JB、J	T6	295	3	80
3	ZAlSi12	ZL102	SB、JB、RB、KB	T2	135	4	50
			J	T2	145	3	50
4	ZAlSi9Mg	ZL104	J	T1	195	1.5	65
			SB、RB、KB	T6	225	2	70
			J、JB	T6	235	2	70

（续）

序号	合金牌号	合金代号	铸造方法	合金状态	力学性能　不低于		
					抗拉强度/MPa	伸长率（%）	布氏硬度　HBW（5/250/30）
5	ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	S、J、R、K	T1	155	0.5	65
			S、R、K	T5	195	1	70
			J	T5	235	0.5	70
			S、R、K	T6	225	0.5	70
			S、J、R、K	T7	175	1	65
6	ZAlSi5Cu1MgA	ZL105A	S、B、R、K	T5	275	1	80
			J、JB	T5	295	2	80
7	ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	JB	T1	195	1.5	70
			SB	T5	235	2	60
			JB	T5	255	2	70
			SB	T6	245	1	80
			JB	T6	265	2	70
			SB	T7	225	2	60
			J	T7	245	2	60
8	ZAlSi7Cu4	ZL107	SB	T6	245	2	90
			J	T6	275	2.5	100
9	ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	J	T1	195	—	85
			J	T6	255	—	90
10	ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	J	T1	195	0.5	90
			J	T6	245	—	100
11	ZAlSi15Cu6Mg	ZL110	S	T1	145	—	80
			J	T1	165	—	90
12	ZAlSi9Cu2Mg	ZL111	SB	T6	255	1.5	90
			J、JB	T6	315	2	100
13	ZAlSi7Mg1A	ZL114A	SB	T5	290	2	85
			J、JB	T5	310	3	90
14	ZAlSi5Zn1Mg	ZL115	S	T4	225	4	70
			J	T4	275	6	80
			S	T5	275	3.5	90
			J	T5	315	5	100
15	ZAlSi8MgBe	ZL116	S	T4	255	4	70
			J	T4	275	6	80
			S	T5	295	2	85
			J	T5	335	4	90

（续）

序号	合金牌号	合金代号	铸造方法	合金状态	力学性能　不低于		
					抗拉强度/MPa	伸长率（%）	布氏硬度　HBW（5/250/30）
16	ZAlCu5Mn	ZL201	S、J、R、K	T4	295	8	70
			S、J、R、K	T5	335	4	90
			S	T7	315	2	80
17	ZAlCu5MnA	ZL201A	S、J、R、K	T5	390	8	100
18	ZAlCu4	ZL203	S、R、K	T4	195	6	60
			J	T4	205	6	60
			S、R、K	T5	215	3	70
			J	T5	225	3	70
19	ZAlCu5MnCdA	ZL204A	S	T5	440	4	100
20	ZAlCu5MnCdVA	ZL205A	S	T5	440	7	100
			S	T6	470	3	120
			S	T7	460	2	110
21	ZAlRE5Cu3Si2	ZL207	S	T1	165	—	75
			J	T1	175	—	75
22	ZAlMg10	ZL301	S、J、R	T4	280	10	60
23	ZAlMg8Zn1	ZL305	S	T4	290	8	90
24	ZAlZn11Si7	ZL401	S、R、K	T1	195	2	80
			J	T1	245	1.5	90
25	ZAlZn6Mg	ZL402	J	T1	235	4	70
			S	T1	215	4	65

注：S—砂型铸造，J—金属型铸造，R—熔模铸造，K—壳型铸造，B—变质处理。

第七节　冲模用钢及其热处理技术条件

一、概论

1. 目的和意义

模具是现代少无加工制造技术中的重要工艺装备，因为模具产品的质量不仅关系到生产制品的质量和性能，而且直接影响到制造业生产效率和成本，因此在现代工业生产中，模具制造技术得到了重视和广泛应用。

本标准是针对我国机电行业冲模的凸、凹模具用钢的选材及其热处理实际应用中的问题制定的。这些问题主要是：①冲模具产品品种多，模具用钢的品种多，模具使用寿命良莠不齐，早期失效较普遍；②模具用钢热处理批量少，热处理装备相对落后；③模具钢选材和其热处理不够经济合理，目前尚无可参考的标准。

本标准制定有利于冲模的制造和使用部门的合理选材；有利于对模具材料进行正确加工和热处理，保证冲模的质量；有利于推广应用新材料、新技术，提高模具的使用寿命，降低成本和提高可

靠性；有利于促进模具行业的技术进步。

2. 制定依据

本标准制定过程中，采用调研和收集资料相结合方式。调研了55家国内冲模使用的企业、研究单位和高校，主要调查冲模的用钢选材及其热处理现状和存在的问题。

收集的国内外的文献资料包括：①国内的相关标准（在本标准的引用标准中已部分列出）；②国外工模具钢相关标准：如ISO 4975，BS 4659，JIS G 4401、4403、4404，ASTM A681、A600，SAE J 438-B70等；③国内的相关资料、手册和新模具钢研制单位的鉴定资料等。

本标准结合我国冲模用钢和热处理现状，考虑到该标准的先进性、科学性和实用性，独立提出了冲模用钢的选材原则，常用钢选材、使用和加工性能表，以及新型冲模用钢的基本参数等。对正确选择冲模用钢，正确制定冲模用钢的热处理工艺制度，有普遍的指导作用和实用价值。

二、标准应用说明

1. 范围

本标准所涉及范围包括金属板材零件的冲裁、弯曲、拉伸和冷压成形类模具用钢及其热处理技术条件。

由于本标准涉及面广，跨度大，统一在一个标准中的难度很大。因此，本标准对其共性问题做了规定，同时为保持标准的完整统一性，以附录形式对冲模用钢的选材、使用和加工性能、新模具钢的基本参数列于标准正文之后，以供冲模制造和使用部门参考。对已纳标的成熟钢种，因为其基本参数已列入有关标准和手册等资料中，根据有关专家意见，本标准不再将其列入。

2. 标准中应说明的几个技术问题

（1）冲模用钢选材原则。冲模用钢选材是根据“模具服役条件，加工批量大小”和“满足使用性能、发挥材料潜力、经济合理”两条原则进行的，列出附录A、B的具体内容供客户选用。这样既有利于用户把握原则，又可根据具体条件选择用钢。

（2）冲模用钢的失效形式和性能要求

1）冲模主要失效形式有过载失效、磨损失效、咬合失效和多冲疲劳失效四种形式。

①过载失效。模具材料本身承载能力不足以抵抗工作载荷（包括随机载荷）作用引起的失效。模具材料韧性不足易产生脆断开裂，对于形状复杂、存在应力集中的高硬度模具钢更容易产生脆性断裂；模具材料强度不足易产生畸变镦粗类失效。

②磨损失效。模具工作部位与被加工材料之间的摩擦损耗，使工作部位（刃口、冲头）形状和尺寸发生变化引起的失效。对工作表面尺寸和质量要求高的冲裁模、成形模易产生此类失效。

③咬合失效。模具工作部位与被加工材料在高压力摩擦下，润滑膜破裂发生咬合，被加工材料“冷焊”到模具表面，引起被加工产品表面质量出现划痕的失效。在拉伸、弯曲模具及成形模具中易发生此类失效。

④多冲疲劳失效。冲模承受的载荷都具有一定冲击速度和能量，且反复加载，其工作状态与小能量多冲疲劳试验相似。由于冲模材料硬度高，多冲疲劳寿命中裂纹萌生期占绝大部分（约90%），疲劳源和裂纹扩散区不明显。多冲疲劳失效常见于重载模具冲头中。

2）冲模用钢的主要性能要求

①冲裁模工作部位是刃口，要求刃口不易崩刃，不易变形，不易磨损和不易折断。

②拉深模是对板材料的成形，工作应力一般不大。拉深模要求工作面保持光洁，不易发生粘附磨损和擦伤；弯曲模除以上要求外还要求有较高的抗断裂能力。

3）成形用模具，用于工作应力大，其中挤压应力更大。材料在型腔中剧烈变形同时产生热

量，模具在反复的应力和温度约300℃环境中工作。要求模具工作时不易变形，不易开裂，不易磨损。

在选择冲模用钢和热处理工艺时，应根据冲模的性能要求和模具主要失效形式，综合考虑其承载能力、耐磨性和多冲疲劳性能。

（3）新冷作模具钢的选择。近年来我国研发不少新冷作模具钢，本标准收集了5种较成熟且已有较广应用范围的新钢种。这些钢种都是根据研制单位有关资料整理和提供的。

（4）冲模用钢的碳化物评定方法。本标准规定了冲模用钢的碳化物评定方法和合格级别。高碳高合金冷作模钢显微组织检验参照JB/T 7713执行。应严格控制冲模碳化物的最大尺寸。

（5）热处理设备。对热处理选用设备，提供一般的技术要求。随着模具工业的发展，生产设备不断更新，产品质量不断提高，建议采用先进的真空炉或保护气氛炉加工为宜。

（6）热处理工艺。常用模具钢的热处理工艺参数选择有成熟的工艺借鉴。本标准中附录C列出了几种新模具钢基本参数，可以供制定热处理工艺时参考。

本标准提倡采用提高模具使用寿命的表面强化热处理技术，特别是对于磨损失效和咬合失效为主要失效形式的模具，可选择的表面强化热处理技术有渗氮、渗硼、氮碳共渗、合金涂渗PVD、CVD、TD法等。

（7）热处理后的质量检验。模具钢热处理后的质量检验，多数生产厂家希望给出具体要求。本标准中给出了必检项目：外观、硬度和畸变的要求；同时给出必要时可检项目：包括显微组织、晶粒度、脱碳层深度、力学性能和探伤等。

3. 附录

（1）附录A、B的制定。附录A、B的制定有助于用户选材，推广应用新钢种及选择工作硬度、加工性能等。由于附录中不可能列入所有材料和加工方法，因此只作选材原则的例子运用。用户可根据具体产品实际情况和选材原则来参照选择。

（2）推荐5种新钢种。附录C推荐5种新钢种，给出了材料化学成分、特点、临界点、锻造工艺、热处理工艺等参数，由于这些钢种经研制和应用，表明有较大的社会经济效益，所以提供这些参数，以便推广和选定热处理工艺时用。（北京机电研究所陈再良供稿）

三、标准内容（JB/T 6058—1992）

冲模用钢及其热处理技术条件

1 主题内容与适用范围

本标准规定了冲模的凸凹模用钢选材及其热处理的技术条件。

本标准适用于金属板材零件的冷冲裁、冷压成形类模具。本标准不包括大型覆盖件冲模和硬质合金类材料。

2 引用标准

GB 224 钢的脱碳层深度测定方法

GB 230 金属洛氏硬度试验方法

GB 231 金属布氏硬度试验方法

GB 702 热轧圆钢和方钢尺寸、外形、重量及允许偏差

GB 908 锻制圆钢和方钢尺寸、外形、重量及允许偏差

GB 1298 碳素工具钢技术条件

GB 1299 合金工具钢技术条件

GB 2101　型钢验收、包装、标志及质量证明书的一般规定
GB 6394　金属平均晶粒度测定方法
GB 9452　热处理炉有效加热区测定方法
GB 9943　高速工具钢棒技术条件
JB 3814　钢的正火与退火处理
JB 3877　钢的淬火回火处理
YB 28　金属显微组织检验法

3　分类

3.1　冲模用钢按成分分为碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢（含基体钢）三类。

3.2　冲模按加工方式分为冲裁、弯曲、拉伸、成形四类。

4　冲模用钢选材原则

4.1　根据冲模受力状态、加工对象性能、结构复杂程度等服役条件和模具加工产品批量大小选材。

4.2　根据钢材“满足使用性能—发挥材料潜力—经济合理用钢”的原则选材。

4.3　常用冲模钢材选用表见附录 A（补充件）。

4.4　常用冲模用钢使用和加工性能表见附录 B（补充件）。

5　冲模用钢型材、锻材技术要求

5.1　碳素工具钢化学成分应符合 GB 1298 表 1 的规定；合金工具钢化学成分应符合 GB 1299 表 1 的规定；高速工具钢化学成分应符合 GB 9943 表 3 的规定。冲模新钢种化学成分应符合表 1 的规定。

表　1

序号	钢　号	化学成分（质量分数，%）									
		C	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	Nb	P	S
1	6Cr4W3Mo2VNb （65Nb）	0.60 ~ 0.70	3.80 4.40	2.50 3.00	2.00 2.50	0.80 1.10	≤0.35	≤0.40	0.20 0.30	≤0.03	≤0.03
2	7Cr7Mo2V2Si （LD）	0.70 ~ 0.80	6.50 7.00	—	2.00 2.50	1.70 2.20	0.70 1.20	≤0.50	—	≤0.03	≤0.03
3	7CrSiMnMoV （CH-1）	0.65 ~ 0.75	0.90 1.20	—	0.25 0.50	0.15 0.30	0.85 ~ 1.15	0.65 ~ 1.05	—	≤0.03	≤0.03
4	6CrNiMnSiMoV （GD）	0.64 ~ 0.74	1.00 1.30	—	0.30 0.60	0.10 0.25	0.50 ~ 0.90	0.70 ~ 1.00	Ni 0.70 1.00	≤0.03	≤0.03
5	8Cr2MnWMoVS （8Cr2S）	0.75 ~ 0.85	2.30 2.60	0.70 1.10	0.50 0.80	0.10 0.25	≤0.40	1.30 ~ 1.70	—	≤0.03	0.08 ~ 0.15

5.2　冲模用钢型材外型、尺寸要求按 GB 702 规定执行；锻制件外形、尺寸要求按 GB 908 规定执行。

5.3　冲模用钢交货状态均为退火状态。碳素工具钢、低合金工具钢退火硬度≤241HBW；高合金工具钢、高速工具钢≤269HBW。

5.4　每批交货钢材化学成分应有分析检验报告并符合 5.1 条要求。

5.5 冲模用钢原材料表面不得有肉眼可见的裂纹、折叠、结疤和夹杂；低倍组织检查不得有肉眼可见的缩孔、夹杂、分层、裂纹、气泡和白点。

5.6 原材料的碳化物分布用金相方法评定。

a. 检验材料纵向网状碳化物和共晶碳化物的不均匀度。

b. 碳素工具钢、低合金工具钢检验网状碳化物分布；高碳高铬工具钢、高速工具钢检验共晶碳化物不均匀度。

c. 检验方法按 YB 28 规定和相关标准进行。

d. 碳化物分布的合格级别应符合表 2 规定。

表 2

钢种	直径 /mm	碳化物级别（不大于）	直径 /mm	碳化物级别（不大于）	直径 /mm	碳化物级别（不大于）	评定方法
碳素工具钢	≤60	2 级	60 ~ 100	3 级	>100	双方商定	GB 1298
低合金工具钢	≤60	3 级	60 ~ 100	4 级	>100	双方商定	GB 1299
高碳高铬钢	≤50	3 级	50 ~ 70	4 级	>70 ~ 120	5 级	GB 1299
高速工具钢	≤40	3 级	40 ~ 60	4 级	>60 ~ 80	5 级	GB 9943

注：共晶碳化物及网状碳化物试样热处理为使用状态，共晶碳化物不均匀度试样可不作热处理。

5.7 一边总脱碳层深度，碳素工具钢脱碳层深≤(0.25 + 1.5% D) mm，合金工具钢、高速工具钢脱碳层深≤(0.20 + 2% D) mm，D 为钢材截面公称尺寸。脱碳层检验方法按 GB 224 规定进行。

5.8 根据需方要求，可增加对型材和锻材的非金属夹杂物、晶粒度、淬透性、断口和力学性能等规定，具体要求由双方协商确定。

6 模具钢的验收

6.1 模具钢的检验由供方执行，并提供符合第 5 章规定的合格证书。

6.2 钢材验收按 GB 2101 规定执行。

7 热处理设备要求

7.1 热处理加热设备可选用空气炉、盐浴炉、保护气氛炉、真空炉等，具体要求由工艺人员确定。采用空气介质加热时应有防氧化措施。

7.2 热处理加热设备的加热区的确定应符合 GB 9452 的规定。

7.3 钢的正火和退火有效加热区温差应符合 JB 3814 的规定；钢的淬火和回火处理有效加热区温差应符合 JB 3877 的规定，淬火加热温度温差不大于 ±10℃。所有加热设备应有加热温度-时间显示装置。

7.4 淬火介质可选用水、油、有机介质、空气、保护气、热浴等；淬火冷却设备应有循环搅拌装置，以保证零件各部位均匀冷却和减少淬火内应力。

7.5 所有加热设备、淬火介质应有专人负责定期检测分析，保证设备的精度和使用性能，并保存有关记录。

8 热处理技术要求

8.1 根据冲模用钢物理化学特性、原始状态、表面质量、热处理目的、性能要求、设备条件来选择热处理工艺参数。几种冲模新钢种常用基本参数见附录 C（补充件）。

8.2 钢材的正火和退火工艺应符合 JB 3814 规定。

8.3 钢材的淬火和回火工艺应符合 JB 3877 规定。

8.4　模具钢淬火加热速度应加以控制，盐浴淬火预热按表3规定进行。

表　3　　（单位:℃）

淬火温度	一次预热	二次预热
<1000	500～550	—
≥1000	500～600	820～880

8.5　模具淬火后应及时充分回火，回火温度和时间应根据材料和模具使用条件选择；高速工具钢类模具回火次数不得少于两次。

8.6　为提高冲模的耐磨性、抗咬合性，允许采用渗氮、渗硼、氮碳共渗等表面强化热处理工艺，并按有关技术要求进行。对Cr12、高速钢等类型钢推荐采用冷处理。

8.7　模具热处理后质量检验按JB 3814第7章、JB3877第8章进行。

8.7.1　质量检验应由专职检验人员按产品要求检查验收。应检项目有工件的外观、表面硬度、变形。必要时可规定检验淬回火显微组织、晶粒度、脱碳层深度、力学性能、探伤等项目。

8.7.2　硬度试验方法按照GB 230、GB 231规定；脱碳层深度、金相组织试验方法按照GB 224、GB 6394、YB 28和相关标准的规定。

9　模具报告单

模具报告单应包括下列内容：

a. 模具名称和材料；

b. 模具的正火、退火、淬火、回火等工艺类型；

c. 模具质量检验结果；

d. 模具的数量及重量；

e. 操作者姓名或代号，处理年、月、日。

附　录　A
冲模工作零件常用钢材选用表
（补充件）

表　A1

模具类型	工作条件	选用材料	工作硬度HRC		模具类型	工作条件	选用材料	工作硬度HRC	
			凸模	凹模				凸模	凹模
冲裁模	轻载	T10A，9SiCr CrWMn，9Mn2V Cr12	56～62	58～64	冲裁模	易断凸模	W6Mo5Cr4V2 6Cr4W3Mo2VNb 6W6Mo5Cr4V 7Cr7Mo2V2Si	56～64	—
	重载	Cr12MoV，Cr12Mo1V1 Cr4W2MoV，5CrW2Si 7CrSiMnMoV 6CrNiMnSiMoV	56～62	58～64		高寿命、高精度模	Cr12Mo1V1 8Cr2MnWMoVS （或硬质合金类）	58～62	60～64
	精冲	Cr12，Cr12MoV W6Mo5Cr4V2 8Cr2MnWMoVS	58～62	59～63	弯曲模	一般模	T8A，T10A，45 9Mn2V，Cr2 6CrNiMnSiMoV	56～62	58～62

（续）

模具类型	工作条件	选用材料	工作硬度HRC		模具类型	工作条件	选用材料	工作硬度HRC	
			凸模	凹模				凸模	凹模
弯曲模	复杂模	CrWMn，Cr12 Cr12MoV	56～62	58～64	成形模	一般模	T10A，9SiCr 9Mn2V，CrWMn	56～60	58～62
拉伸模	一般模	T8A，T10A 9CrWMn，Cr12 7CrSiMnMoV	56～62	58～64		复杂模	Cr12 Cr12MoV，Cr4W2MoV 7CrSiMnMoV	56～62	58～64
	重载长寿命模	Cr12MoV，Cr4W2MoV W18Cr4V，Cr12Mo1V1 W6Mo5Cr4V2 （或硬质合金类）	56～62	58～64		压印模	Cr2，Cr12MoV 6Cr4W3MoVNb 6W6Mo5Cr4V W18Cr4V	56～60	58～62

注：允许选用性能相近的其他材料。

附　录　B

常用冲模用钢使用和加工性能表

（补充件）

表　B1

	钢　　号	工作硬度HRC	耐磨性	韧性	淬火不变形性	淬硬深度	可加工性	脱碳敏感性
常规冲模用钢	Cr12	58～64	好	差	好	深	较差	较小
	Cr12MoV	55～63	好	较差	好	深	较差	较小
	Cr12Mo1V1	58～62	好	较差	好	深	较差	较小
	9Mn2V	58～62	中等	中等	较好	较浅	较好	较大
	CrWMn	58～62	中等	中等	中等	较浅	中等	较大
	9CrWMn	57～62	中等	中等	中等	较浅	中等	较大
	Cr4W2MoV	58～62	好	较差	较好	深	较差	中等
	6W6Mo5Cr4V	56～62	较好	较好	中等	深	中等	中等
	W18Cr4V	60～65	好	较差	中等	深	较差	小
	W6Mo5Cr4V2	58～64	好	中等	中等	深	较差	中等
	5CrW2Si	54～58	较好	较好	中等	深	中等	中等
	T10A	56～62	较差	中等	较差	浅	好	大
	9SiCr	58～62	中等	中等	较差	较浅	中等	大
	Cr2	58～62	中等	中等	中等	较浅	较好	较大
新型冲模用钢	6Cr4W3Mo2VNb(65Nb)	57～61	较好	较好	中等	较深	较差	较小
	7Cr7Mo2V2Si(LD)	57～62	较好	较好	中等	较深	较差	中等
	7CrSiMnMoV(CH-1)	57～61	较好	较好	好	较深	中等	中等
	6CrNiMnSiMoV(GD)	57～62	较好	较好	好	较深	中等	较小
	8Cr2MnWMoVS(8Cr2S)	58～62	较好	中等	好	较深	较好	中等

注：性能逆变顺序为：好 > 较好 > 中等 > 较差 > 差。

附　录　C
新型冲模用钢基本参数
（参考件）

C1　钢号：6Cr4W3Mo2VNb（65Nb）

C1.1　标准号：GB 1299

C1.2　化学成分

表　C1　（%）

C	Cr	W	Mo	V	Nb	Si	Mn	S	P
0.66	4.08	3.02	1.87	1.10	0.26	0.19	0.16	0.005	0.11

C1.3　钢的特点：属于基体钢，有较高的强韧性，较高的耐磨性，较好的工艺性；适用于冷冲孔凸模、切边模、冷挤压模等综合性能要求高的模具。

C1.4　临界点

表　C2　（单位：℃）

Ac_1	Ar_1	Ms
810～830	720～740	220

C1.5　锻造加热与冷却规范

表　C3　（单位：℃）

加热温度	始锻温度	终锻温度	冷却方式
1120～1150	1100	850～900	缓冷

C1.6　热处理工艺

退火：860℃（3h）炉冷至740℃（6h）后炉冷，<255HBW。

淬回火工艺：1080～1180℃（油冷），520～600℃二次回火，57～61HRC。$a_K \geqslant 50J/cm^2$（C型缺口，$R=12.7mm$）。

C2　钢号：7Cr7Mo2V2Si（LD）

C2.1　化学成分

表　C4　（%）

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	S	P
0.78	0.23	1.10	6.96	3.04	2.0	0.10	≤0.03	≤0.03

C2.2　钢的特点：属基体钢，有较高的强韧性和耐磨性，高的抗弯强度。适宜作强韧性要求高的冷冲、冷镦模具。

C2.3　临界点

表　C5　（单位：℃）

Ac_1	Ac_3	Ms
859	910	105

C2.4　锻造加热与冷却规范

表　C6　（单位：℃）

加热温度	始锻温度	终锻温度	冷却方式
1130	1110	≥850	砂冷

C2.5　热处理工艺

退火：860℃（2h）炉冷到740℃（5h），炉冷到500℃后空冷，<255HBW。

淬回火工艺：1100～1150℃油淬，530～570℃2～3次回火，57～62HRC，a_K≥50J/cm²（C型缺口）。

C3　钢号：7CrSiMnMoV（CH-1）

C3.1　化学成分

表　C7　（%）

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
0.68	1.01	0.86	0.99	0.35	0.21	≤0.03	≤0.03

C3.2　钢的特点：属中碳低合金冷冲模具钢，淬火温度较宽，可用火焰加热空冷硬化，有较小热处理变形和好的耐磨性、焊接性能。适用于较高负荷，高强韧性要求的冲孔凸模，中厚板冲裁模，较大尺寸切边模及拉深模等。

C3.3　临界点

表　C8　（单位：℃）

Ac_1	Ac_3	Ar_1	Ar_3	Ms
776	834	694	732	211

C3.4　锻造加热与冷却规范

表　C9　（单位：℃）

加热温度	始锻温度	终锻温度	冷却方式
1150～1200	1100～1150	800～850	空冷或灰冷

C3.5　热处理工艺

退火：820～840℃（2～4h）炉冷到680～700℃（3～5h），炉冷至≤500℃后空冷，<255HBW。

淬回火工艺：880～920℃油（或空气）淬，200℃回火，58～61HRC，a_K≥100J/cm²（C型缺口）。

C4　钢号：6CrNiMnSiMoV（GD）

C4.1　化学成分

表　C10　（%）

C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	V	P	S
0.69	1.16	0.90	0.96	0.81	0.60	0.21	≤0.03	≤0.03

C4.2　钢的特点：属低合金高强韧性冷冲模具钢，热处理淬火温度较宽，工艺简便，变形较小，耐磨性较好。适用于负荷较高、韧性要求高的易崩刃、易断裂冲模，尤其是冷冲凸模、中厚板冲裁模、精密模具等。

C4.3　临界点

表　C11　（单位：℃）

Ar_3	Ar_1	Ms
705～740	580～605	172

C4.4　锻造加热与冷却规范

表　C12　（单位：℃）

加热温度	始锻温度	终锻温度	冷却方式
1020～1080	1040～1060	≥850	缓冷

C4.5　热处理工艺

退火：760～780℃（2h）炉冷至680℃（6h），炉冷至≤500℃后空冷，≤255HBW。

淬回火工艺：870～930℃油（或空气）淬，170～270℃回火，57～62HRC，a_K≥128J/cm^2（C型缺口）。

C5　钢号：8Cr2MnWMoVS（8Cr2S）

C5.1　化学成分

表　C13　（%）

C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	S	P
0.79	0.27	1.41	2.34	0.86	0.69	0.18	0.085	0.0163

C5.2　钢的特点：属易切削精密模具钢，具有空冷淬透、淬硬性好、微变形、易切削加工性能好等特点。适用于薄板精密冲裁类模具。

C5.3　临界点

表　C14　（单位：℃）

Ac_1	Ac_{cm}	Af_1	Ar_{cm}	Ms
770	820	660	710	166

C5.4　锻造加热与冷却规范

表　C15　（单位：℃）

加热温度	始锻温度	终锻温度	冷却方式
1100～1150	1060	≥900	木炭缓冷

C5.5　热处理工艺

退火：800±10℃（4～6h）炉冷至550℃出炉空冷，<255HBW。

淬回火工艺：880～920℃（盐浴炉1.5～2min/mm，空气炉2～2.5min/mm）空冷，200～250℃回火，58～62HRC，a_K≥38J/cm^2（C型缺口）。

第六章　零件热处理标准

第一节　齿轮调质工艺及其质量控制

一、概论

齿轮调质工艺分为两类。一类为预备热处理，使钢中碳化物适当聚集，降低硬度，有利于切削加工；同时，可消除锻造组织缺陷，为后续热处理做好组织准备。对于渗氮、氮碳共渗、感应淬火的齿轮，调质处理的质量是至关重要的。另一类为最终热处理，即所谓软齿面齿轮，冶金、矿山等行业的传动装置中的齿轮多采用这种工艺。

本标准是在参考 ISO 6336-5 及国外先进工业国家标准 AGMA 2004、JIS B 6913 及我国生产企业的工艺资料的基础上，结合我国国情而制定的。

本标准主要内容有材料选择、设备要求、推荐工艺、质量检验等。根据洛阳矿山机器厂、沈阳重型机器厂的工厂标准及试验数据，整理出典型调质钢材不同截面与性能的关系、工艺硬度与齿面硬度关系作为附录，仅供参考。

二、标准应用说明

1. 齿轮材料

根据调查情况，齿轮材料品种繁多的原因是由于各重机厂自己有冶炼能力，各有其系列，我国无齿轮调质用钢系列。美国调质用的钢材很多，但齿轮一般用 4140 和 4340 两种，德国用 CK45、42CrMo4 较多，铸钢也占有一定比例。在反馈意见中，有的从齿轮强度计算与技术发展角度，认为 45、55 钢不值得推荐；有的提出不要推荐具体牌号，而是给出化学成分，按成分分级。经讨论认为，目前 45 钢是存在不少问题，若冶炼质量提高，处理得当，在许多行业使用中，基本上能满足工况要求。至于仅推荐化学成分问题，我国尚未做系统的试验工作，有待今后进一步探讨。建议目前图样仍用钢的牌号标注，这对钢材的采购、供应及热处理制定工艺控制质量较为方便。为便于制定和掌握工艺，本标准列出了常用材料，由于供应渠道之故，也可按用户与生产企业协议选材。本标准列出这些材料，希望通过标准实施，集中材料品种，逐步使调质齿轮材料系列化。

2. 齿面硬度及其测量部位

目前我国调质齿轮及齿坯的硬度是测量齿顶（外圆）或端面部位。从齿轮的工作状态来看，测量啮合部位的硬度较合理，而齿根的抗弯强度也是较重要的指标。调质后，在外表面测出的硬度与齿面、齿根硬度，只有在钢材淬透性高的情况下差别较小。

日本对大型重要齿轮，在齿轮加工完成后，装配前对齿轮的齿面逐个检验硬度，并以此为依据，载入齿轮档案资料中。

在 AGMA 2004-B89《齿轮材料及热处理手册》中对调质齿轮产品的硬度检验满足下列条件：

（1）被测表面应有可供测试硬度的部位，并且符合规定的表面粗糙度值，通常 Ra 为 5μm。

（2）被测表面允许有硬度计压痕。

（3）被测表面能承受试验负荷。

该手册中规定，调质齿轮硬度测试部位为轮齿端面、齿顶、人字（双斜）齿轮的空刀槽部位；轴齿轮为轮齿与轴的相邻部位（不可在轴颈部位），很少在齿面或齿根部位检验硬度，因为所选钢材的淬透性保证了这些部位能达到硬度要求。

根据我国钢材和生产情况以及对国外标准分析，测定空刀槽部位或轴的相邻部位都不能完全代表齿轮的硬度。特别是轴齿轮其轴的直径与齿轮直径相差悬殊时，测定轴的硬度是不可靠的，今后应向简化且准确测定硬度方面发展。本标准对铸钢齿轮、锻造轴齿轮及盘状齿轮和锻造环形齿轮的硬度检测部位及点数分别见标准中表 1、表 2、表 3。

3. 硬度符号的标注

在调查发现，目前对硬度符号标注方法较为混乱。对于调质齿轮有用 HBW 表示的，也有用 HRC 表示的，也有用 HS 表示的，硬度值有的写在符号前面，有的写在符号后面。为了贯彻国家标准，为了图样标注统一及测试准确性，本标准规定调质齿轮的硬度用布氏硬度值表示，符号为 HBW，硬度值写在符号前面，在必要情况下符号后面按顺序用数值表示试验条件。

4. 关于预先切齿调质

对于大截面大模数齿轮，由于钢材淬透性所限，齿面硬度达不到设计要求，承载能力偏低，易产生点蚀及塑性变形。众所周知，调质齿轮的加工余量大，调质铣齿后，径向方向的调质层几乎完全被切削掉，即齿的高度方向，从齿顶到齿根各部位硬度不一致。资料介绍，40Cr 钢直径 ϕ650mm 锻件，经 850℃油淬，全马氏体层为 10.5mm，半马氏体层为 15mm，在 25mm 以后硬度很低，马氏体组织已消失。40CrMnMo 钢直径 ϕ820mm 的锻件，经 860℃加热淬火，淬火介质为油，全马氏体层为 10mm，半马氏体层达 30mm。由此可见，大锻件完全淬火为马氏体组织只在离工件表面很浅的部位，直径越大，淬硬层越浅，而齿坯加工余量大，加工后在轮齿啮合部位硬度达不到技术要求，这就是使用寿命低，齿面磨损快的原因。本溪钢铁公司歪头山铁矿选矿车间 ϕ5.5m×1.88m 自磨机主动齿轮（模数为 22mm，齿数为 20），一般使用寿命 7 个月左右。鞍山钢铁第一初轧厂 18#初轧机第六架锥齿轮（模数为 28mm，齿数为 56），使用只有 3～4 个月。沈阳有色冶金机械总厂进行预切齿调质后取得一定成效，提高了齿轮寿命。洛阳矿山机器厂对几种材料不同截面调质硬度进行了大量试验工作，并对模数大于 20mm 的齿轮进行预切齿调质，上海重型机器厂对模数大于 18mm 的齿轮也采用预切齿调质，太原重型机器厂、第二重型机器厂等单位在这方面也做了不少工作。

预先切齿调质通常称为开齿调质或开槽调质。本标准中从加工方法角度出发称为预先切齿调质，以求冷热加工统一术语。

由于预先切齿增加了工序和成本，且存在加工技术方面的问题，目前推广阻力较大，基于材料的化学成分、截面尺寸及淬透性不同，当所选材料不能满足技术要求硬度时，应考虑更换材料或采用预先切齿工艺，这对提高齿轮寿命，提高总的经济效益是无庸置疑的。本标准在附录中推荐了常用调质齿轮钢截面与硬度的关系。

5. 关于“有效截面”计算问题

在本标准征求意见稿中，曾参照 AGMA 6033-A88《船舰驱动齿轮装置第一部分：材料》，给出四种类型有效截面尺寸计算方法。在反馈意见及研论会上代表认为，这四种类型图不能包括各规格齿轮，且有不合理之处，建议删掉。考虑到目前各生产企业对不同类型齿轮均有计算截面尺寸的方法，课题组研究，不具体提供有效截面尺寸计算示图与方法。

6. 关于大截面、大型齿轮的定义

本标准中提出大截面齿坯及大型齿轮的词句，有生产企业在反馈意见中提出应对此给出定义或界限。研讨会专门讨论了这个问题，认为大截面、大型齿轮对不同行业不能用统一的定义。机床行业需调质的齿轮有的模数为 5mm 就算大型齿轮，而在重机行业这种则称为小型齿轮。有的齿轮截

面尺寸虽大，但模数小；有的截面尺寸不大，而模数却较大，这与钢材的淬透性、规定的硬度、要求的硬度深度、处理工艺有关，研讨会代表分析讨论认为，不必具体给出定义。

7. 试验验证

为了进一步了解我国目前调质齿轮硬度状况，进行了现场试验验证工作。选取不同材料、不同直径、不同模数的齿轮，用里氏硬度计测定齿顶及距齿顶垂直距离 12mm 处的齿面硬度，测定结果见表 6. 1-1。

表 6. 1-1　调质齿轮齿面与齿顶硬度值

齿轮参数			材料	技术要求硬度 HBW	实测硬度				
					齿面			齿顶	
外径/mm	内径/mm	模数			序号	LD	HBW	LD	HBW
ϕ2202	ϕ1900	20	40CrNi2Mo	300 ~ 330	左旋				
					1	606	333	604	330
					2	579	300	566	286
					3	567	287	583	305
					4	579	300	612	340
					5	592	316	592	316
					平均	585	307	591	315
					右旋				
					1	585	308	638	374
					2	591	315	617	347
					3	587	310	670	419
					4	606	333	628	361
					5	593	317	623	354
					平均	592	317	635	371
ϕ1594. 74	节圆 ϕ1570. 39	16	40CrMnMo	320 ~ 350	1	583	305	592	316
					2	588	311	600	326
					3	586	309	593	317
					4	584	306	603	329
					5	581	303	596	321
					平均	584	307	597	322

从表 6. 1-1 可以看出：①40CrNi2Mo 齿面硬度较为均匀，仅有一点低于技术要求，其余均在合格范围内，齿面硬度较好，上下差为 25HBW。②左旋齿的齿顶硬度有两点超差，上、下差 54HBW；右旋齿顶硬度上、下差 72HBW。这可能是由于齿顶表面粗糙度的影响，有时在现场常发现个别齿轮硬度超差，这可能与原材料有关。③40CrNi2Mo 左旋齿面与齿顶硬度平均差 8HBW；而右旋齿顶与齿面平均差 52HBW。为什么同一材料不同齿轮硬度差这么大，未进一步分析。④40CrMnMo 齿面硬度较为均匀，上、下差 5HBW，但所有值均低于技术要求硬度值，齿顶硬度平均值虽在技术条件范围内，但有个别点偏下限。由此也可说明，该钢在这样大直径及模数下，齿面要达到 320 ~ 350HBW 是较困难的。通常调质齿轮的调质加工余量较大，齿根部位随齿轮模数增大而离外表面距离也越大。在加工中，齿轮模数越大，加工余量越大，齿轮直径越大，淬硬的深度越

浅。若材料淬透性低，则外表面与齿根的硬度差值就偏大。如果外表面测得硬度为图样要求的下限时，则齿面、齿根硬度就有可能不合格。因此，必须找出不同截面、不同材料、不同模数条件下，调质后表面硬度和齿面齿根部位硬度的差值，这样，测定的表面硬度减去差值，才是设计者要求的硬度值。换言之，在工艺控制和检验时，测定的表面硬度值应等于图样要求的硬度值加上差值，才能保证齿面与齿根所需的硬度。

8. 应用本标准的注意事项

（1）在本标准中所涉及的相关标准应采用最新版本。

（2）采用调质处理作为最终热处理的齿轮，通常是较大的齿轮，特别要注意工件应放在加热炉的有效加热区内。

（3）经现场调查，尤其是轧钢机齿轮，调质后轮齿工作部位硬度偏低。运转后，有的齿面出现严重点蚀，有的发生塑性变形，特别在齿向上较为严重，而使齿轮早期失效。建议参照 ISO 6336.5 标准附录 A《调质齿轮控制（关键）截面的尺寸效应》，GB/T 8539 已等效采用。特别要考虑钢材的淬透性、规定硬度、理想硬化层深度，制定合理的调质工艺。（郑州机械研究所李耀珍供稿）

三、标准内容（JB/T 6077—1992）

齿轮调质工艺及其质量控制

1　主题内容与适用范围

本标准规定了齿轮调质有关术语、材料选择、处理设备、工艺及质量控制要求。

本标准适用于锻钢和铸钢齿轮的预备调质热处理及最终调质热处理。

2　引用标准

GB 231　金属布氏硬度试验方法

GB 699　优质碳素结构钢技术条件

GB 1172　黑色金属硬度及强度换算值

GB 3077　合金结构钢技术条件

GB 4341　金属肖氏硬度试验方法

GB 6394　金属平均晶粒度测定法

GB 8539　齿轮材料及热处理质量检验的一般规定

GB 9452　热处理炉有效加热区测定方法

3　术语

3.1　齿轮毛坯

轮齿进行机械加工或热处理前的半成品齿轮，称为齿轮毛坯。

3.2　预备调质热处理

对最终热处理前的齿轮毛坯进行淬火和高温回火处理称为预备调质热处理。

3.3　预先切齿调质热处理（开槽调质）

齿轮毛坯经预先切齿，再进行淬火和高温回火处理称为预先切齿调质热处理。

3.4　最终调质热处理

齿轮毛坯经淬火高温回火后，不再进行任何热处理的工艺，称为最终调质热处理。

3.5　有效截面

作为计算加热、冷却时间用的截面，称为有效截面。

3.6　工艺硬度

为达到齿轮图样技术要求的齿面硬度，在制订齿轮毛坯调质工艺时，根据材料的淬透性及截面尺寸而规定的齿轮毛坯的外圆柱表面或端面应达到的硬度称为工艺硬度。

4　齿轮材料

4.1　调质齿轮材料

常用钢材如下：

合金结构钢　40Cr，35SiMn，35CrMo，42CrMo，50CrMoA，40CrNi，40CrMnMo，40CrNiMo，40CrNi2Mo，34CrNi3Mo，37SiMn2MoV

优质碳素结构钢　45，50，55

一般工程用铸造碳钢　ZG310-570，ZG340-640

合金铸钢　ZG40Cr，ZG35CrMo，ZG35CrMnSi

必要时可由用户与制造厂协商决定，可按 JB/ZQ 6207 减速器齿圈用的碳钢和合金钢锻件或 JB/ZQ 6208 减速器齿轮用碳钢和合金钢锻件选材。

4.2　冶金质量

4.2.1　材料的化学成分、非金属夹杂物及力学性能应符合 GB 699、GB 3077 及有关行业标准规定。

4.2.2　晶粒度、钢锭结构按 GB 8539、GB 6394 有关规定。

4.3　锻造齿轮毛坯质量

4.3.1　锻造比按 GB 8539 或按各行业规定。

4.3.2　锻坯不得过热、过烧、斑疤、折叠、裂纹，其晶粒度级别不低于原材料晶粒度级别。锻后余热调质热处理后的晶粒度级别按各行业规定。

4.4　力学性能试验

按规定程序批准的图样或技术文件要求测定力学性能时，其取样部位、试件数量及试验方法按各行业有关规定。

5　调质处理设备

5.1　加热设备

5.1.1　加热设备应能根据工艺要求控制炉温。在设备的有效加热区内，其保温温度偏差最大不超过±15℃。

5.1.2　当用火焰反射炉时，火焰不得直接喷射到齿轮毛坯上，以免局部烧伤。

5.2　冷却设备及介质

5.2.1　淬火冷却设备应具有循环冷却装置或搅拌装置，以保证齿轮毛坯获得足够而均匀的冷却。

5.2.2　齿轮毛坯淬火冷却时，介质温度应控制在：水温≤40℃；油温≤80℃。

5.3　温度测定及温度控制设备

5.3.1　淬火加热和回火炉应配有温度测量、指示、控制和自动记录装置。

5.3.2　测试仪表精度及热电偶等级应符合 GB 9452 的规定。

6　齿轮调质热处理工艺规程

6.1　预备调质热处理工艺规程

6.1.1　淬火加热温度一般在 Ac_3 以上 30～50℃，对某些钢材也可采用亚温淬火，或锻造余热淬火，回火温度根据设计硬度要求确定。

6.1.2　齿轮毛坯应置于炉子的有效加热区内，工件间应保留一定的间隙，装炉量不得超过设备最大装载量。

6.1.3　齿轮毛坯达到工艺规定的淬火温度后，保温一段时间，使其透热及均匀化。

6.1.4　回火保温时间一般按有效截面尺寸计算，当有效截面尺寸小于60mm时，保温1.5～2h；当有效截面尺寸为60～100mm时，保温2～3h；当有效截面尺寸大于100mm时，应适当延长保温时间。

6.2　最终调质热处理工艺规程

6.2.1　装炉前应检查工件表面质量，不允许有裂纹、折叠、严重磕碰等缺陷。

6.2.2　粗加工后调质的齿轮毛坯，应留有合理的加工余量，必要时应预留起吊夹头和力学性能试棒。

6.2.3　齿轮毛坯的尖角处应倒角，断面突变处应以圆弧过渡。

6.2.4　当所选材料的齿轮毛坯工艺硬度达不到图样标注的硬度加要求的硬度差值时，应进行预先切齿再调质。常用的调质齿轮钢材截面与硬度对应关系见附录A（参考件）。

6.2.5　齿轮毛坯应置于设备有效加热区内，相互之间应留有一定间距。

6.2.6　对于大型锻坯或铸坯，应采用阶梯加热法，并应控制其升温速度。

6.2.7　淬火加热的保温和回火时间同6.1.3条、6.1.4条。

6.2.8　淬火后应及时回火，一般间隔时间不超过4h，对于大截面水冷后的中、低合金钢锻件及铸件，回火间隙时间不得超过2～3h。

6.2.9　淬火冷却时不应将齿轮毛坯堆放在冷却槽内，以防止冷却不均匀和产生过大的变形。

6.2.10　回火冷却一般为空冷，对于大截面锻件或铸件应随炉冷却至低于400℃后出炉再空冷；对于有回火脆性的钢材，回火后应采用油冷或水冷，然后再在400～450℃保温一段时间后空冷。

6.2.11　轴齿轮校直后应补充回火，其温度比调质的回火温度低30～50℃，工件变形量不得大于加工余量的1/2。

6.2.12　焊接齿轮的调质处理工艺与锻钢齿轮一样，其焊后的中间退火和最终退火的温度比齿圈调质时的回火温度低30℃，保温2～6h，然后以25～50℃/h的冷却速度冷却到300℃以下再空冷。

7　调质齿轮质量控制与检测方法

7.1　外观

齿轮毛坯调质后，外观表面不得有裂纹及伤痕等缺陷。

7.2　硬度

7.2.1　调质后应进行硬度检验。

7.2.2　调质齿轮硬度用布氏硬度标注，符号为HBW，硬度值写在符号前面，并按GB 231规定测定。若用其他硬度计测量时，其硬度换算应符合GB 1172的规定。当用洛氏硬度计测出的硬度低于25HRC时，则应重新用布氏硬度计测定。

7.2.3　对批量生产，应按热处理炉次抽检，其抽检数按各行业技术文件规定进行。单件生产应100%测定。

7.2.4　硬度检测部位与点数

7.2.4.1　工序间检验

7.2.4.1.1　齿轮毛坯调质处理后，在其外圆柱表面或端面，用砂轮磨削一小平面，用硬度计测定，其测定值应以工艺硬度为准。几种钢工艺硬度与图样要求硬度差值见附录B（参考件）。

7.2.4.1.2　铸造齿轮毛坯硬度检测部位及点数见表1。

7.2.4.1.3　锻造轴齿轮与盘形齿轮硬度检测部位及点数见表2。

7.2.4.1.4　锻造环形齿轮硬度检测部位及点数见表3。

7.2.4.2　成品齿轮检验

成品齿轮硬度应在齿面或轮缘面上半径方向二分之一厚度处用无损检测硬度计测定。暂无条件

时，也允许在齿顶面或端面上测定，测定结果应考虑材料淬透性的影响。

7.2.5 硬度均匀性

被检齿轮的硬度应均匀，单件硬度差不大于30～40HBW，批量硬度差不大于40～50HBW。

7.2.6 硬度检测结果评定

检测结果应符合技术条件。若检测齿轮中有个别点超出规定，则在该点附近加测两点。加测合格为合格品，若测不合格，应加倍检验。若加倍检验仍有不合格，则应全部检查或按不合格处理。

表1 铸钢齿轮硬度检测部位及点数

顶圆直径/mm	测定点数	测定位置
≤1000	2	上模测一点在冒口处，另一点在下模，二者大致相隔180°
>1000～2000	4	上模测二点，其中一点于冒口处，另一点与冒口相隔180°，另二点在下模，分别与上模两测点相隔90°
>2000～3000	8	上模测四点，其中两点靠近冒口，并相隔180°，另两点分别与冒口相隔90°，下模测四点，分别与上模相隔90°
>3000	16	上模测八点，其中四点靠近冒口，另四点在冒口之间，下模测八点，并沿齿轮圆周均匀分布

表2 锻造轴齿轮与盘状齿轮硬度检测部位与点数

顶圆直径/mm	轴齿轮		盘形齿轮	
	点数	检测部位	点数	检测部位
≤400	4	二点在外圆柱表面中间部位相隔180°，另二点分别在距轴端面25mm的外圆柱表面，并相隔180°	2	每个端面一点位于齿根部位，二者相隔180°
>400	5	三点在外圆柱表面中间部位，相隔120°，另二点分别在距轴两端50mm的外圆柱表面上	4	每个端面测两点，相隔180°位于齿根部位

表3 锻造环形齿轮硬度检测部位与点数

顶圆直径/mm	检测点数	检测部位
≤1000	2	在环形齿轮端面的相对面上各测一点，并相隔180°
>1000～2000	4	在环形齿轮上端面测两点，并相隔180°，下端面测两点，分别与上端面相隔90°
>2000～3000	6	环形齿轮两端面各测三点，相隔120°
>3000	8	环形齿轮两端面各测四点，相隔90°

7.3 金相组织

7.3.1 根据技术条件要求进行该项检验。对于预备调质热处理齿轮毛坯，调质后金相组织为回火索氏体，齿面处铁素体含量小于10%；对于最终调质热处理齿轮的金相组织按GB 8539或按各行业规定。

7.3.2 检验方法：可在随炉试样或锻件加长部位取样，磨制成金相试样后，经腐蚀在显微镜下放大400倍观察，或根据用户与制造厂协议，用小型或手提式金相显微镜检验。

7.4 力学性能检验

7.4.1 力学性能检验项目与数量按GB 8539规定或按用户与制造厂协商进行。

7.4.2　轴齿轮取样部位在轴的加长部位距表面1/3半径处，盘形齿轮、环形齿轮在齿宽方向加长部位取切向试样。

7.4.3　对于齿轮部位与轴颈部位直径相差悬殊的轴齿轮，其力学性能的要求应考虑断面影响差值。

7.5　探伤检验

对设计要求探伤的齿轮，应进行超声波、磁粉、着色等任一种方式探伤。检验裂纹、气孔、缩孔等缺陷，按GB 8539有关规定或按用户与制造厂协商决定。

7.6　铸钢齿轮补焊

铸钢齿轮补焊应符合JB/ZQ 4000.6《铸钢件补焊通用技术条件》规定，补焊部位应符合GB 8539规定。

附　录　A
常用调质齿轮钢截面与力学性能
（参考件）

表　A1

钢号	截面直径/mm	表面最高硬度① HBW	力学性能							对应表面硬度③ HBW
			R_m/MPa	R_{eL}/MPa	R_{eL}/R_m	A（%）	Z（%）	A_{KU}/J	HBW②	
45	≤100	302	686/784	372/470	≥0.54/0.6	17/11	40/32	49/34.3	197/229	229/262
	>100~300	217	637	343	≥0.54	15	36	39.2	183	212
	>300~500	212	568	314	≥0.6	12	34	29.4	163	179
55	≤100	321	706/833	392/510	≥0.55/0.6	15/10	38/30	39.2/29.4	207/255	241/285
	>100~300	285	666/706	363/392	≥0.55/0.56	14/10	36/30	29.4/24.5	187/207	217/255
	>300~500	241	617	333	≥0.54	12	32	24.5	179	—
	>500~700	212	568	294	≥0.52	10	30	19.6	163	—
40Cr	≤100	477/388	784/931	568/706	≥0.75	15/10	45/38	49/29.4	241/285	255/321
	>100~300	363/302	735/833	509/568	≥0.69/0.68	13/10	42/35	39.2/29.4	217/255	241/285
	>300~500	302/217	686	450	≥0.65	12	38	29.4	201	217
	>500~700	255	637	372	≥0.58	10	35	19.6	179	197
35CrMo	≤100	461/388	784/931	392/686	≥0.5/0.74	15/12	45/40	58.8/39.2	241/285	255/311
	>100~300	363/285	666/706	363/392	≥0.55/0.56	13/11	42/36	49/34.3	217/241	241/269
	>300~500	285/217	686	450	≥0.66	12	38	39.2	201	229
	>500~700	241	637	372	≥0.58	10	35	29.4	179	197
42CrMo	≤100	477/388	833/931	607/744	≥0.73/0.8	15/12	45/40	58.8/39.2	255/285	262/302
	>100~300	375/321	745/833	529/588	≥0.71/0.71	13/11	42/35	49/34.3	229/241	248/269
	>300~500	302/241	705	490	≥0.70	12	38	39.2	217	241
	>500~700	262/212	685	412	≥0.6	11	35	29.4	201	217
35SiMn	≤100	401/321	784/882	529/637	≥0.68/0.72	15/10	45/30	58.8/29.4	229/255	269/285
	>100~300	321/269	735/784	441/539	≥0.6/0.69	14/10	35/30	49/24.5	212/223	229/262
	>300~500	269/212	637	372	≥0.58	11	30	34.3	179	212
	>500~700	212	588	343	≥0.58	10	28	24.5	167	187

（续）

钢号	截面直径/mm	表面最高硬度[①] HBW	力学性能							对应表面硬度[③] HBW
			R_m/MPa	R_{eL}/MPa	R_{eL}/R_m	A（%）	Z（%）	A_{KU}/J	HBW[②]	
37SiMn2MoV	≤100	401	882/1078	735/882	≥0.83/0.82	15/12	45/35	49/29.4	262/331	262/341
	>100～300	375	833/931	686/784	≥0.82/0.84	14/11	40/32	39.2/24.5	255/285	262/302
	>300～500	321	784/882	607/686	≥0.77/0.78	12/10	35/30	29.4/19.6	229/262	255/293
	>500～700	285	764	568	≥0.74	12	35	24.5	223	248
40CrMnMo	≤100	461	882/1078	529/637	≥0.83/0.82	16/11	45/35	49/29.4	269/341	269/341
	>100～300	375	833/980	637/784	≥0.76/0.8	15/10	42/32	49/24.5	255/311	269/341
	>300～500	341	784/882	568/686	≥0.73/0.78	14/10	40/30	39.2/19.6	241/285	269/341
	>500～700	302	735	490	≥0.67	12	35	29.4	223	262
40CrNi	≤100	—	834	588	≥0.71	10	40	39	269～302	—
	>100～300	—	785	569	≥0.72	9	38	31	241～286	—
	>300～500	—	736	549	≥0.75	8	36	27	228～226	—
	>500～700	—	686	529	≥0.77	8	35	24	217～255	—
40CrNi2Mo	≤200	—	1060	964	≥0.91	17.4	51.3	—	321	—
	>300	—	1023	900	≥0.88	17.2	50.5	—	311	—
	>480	—	997	845	≥0.85	16.6	48.4	—	302	—
34CrNi3Mo	≤100	—	902	785	≥0.87	14	40	55	269～341	—
	>100～300	—	853	736	≥0.86	14	38	47	269～341	—
	>300～500	—	804	686	≥0.85	13	35	39	269～341	—
	>500～800	—	755	635	≥0.84	12	32	31	241～302	—

注：“/”表示不同冷却方法得到的力学性能。在“/”上面的数字为水淬油冷后回火的力学性能；“/”下面的数字为水冷后回火的力学性能。

① 表面最高硬度：淬火后所能达到的表面最高硬度。

② HBW：力学性能试样的硬度。

③ 对应表面硬度：被取试样材料调质后的表面硬度，可作为工艺硬度。

附　录　B
几种钢工艺硬度与图样要求硬度差值
（参考件）

表　B1　（HBW）

牌号	要求硬度与截面 / 模数 m/mm	269～302		229～269	
		ϕ100～ϕ200mm	ϕ200～ϕ400mm	ϕ100～ϕ200mm	ϕ200～ϕ400mm
45 55	<8	—	15	—	10
	8～16	15	20	10	20
	>16～25	20	30	20	30

（续）

牌号	要求硬度与截面 模数 m/mm	269 ~ 302		229 ~ 269	
		ϕ100 ~ ϕ200mm	ϕ200 ~ ϕ400mm	ϕ100 ~ ϕ200mm	ϕ200 ~ ϕ400mm
40Cr	< 8	—	10	—	—
	8 ~ 16	10	20	10	15
	> 16 ~ 25	15	30	10	20

注：工艺硬度等于图样要求硬度加相应差值。

第二节　齿轮气体渗碳热处理工艺及其质量控制

一、概论

气体渗碳热处理是汽车、拖拉机、纺织、船舶、宇航、采掘、汽轮机、工程机械及大型矿山设备中的齿轮应用最为广泛的化学热处理工艺。随着科学技术的发展、工艺装备技术改造、国外先进设备的引进以及相关标准的制定，目前我国气体渗碳齿轮热处理质量有所提高。为了使质量问题在生产过程中被发现，有必要对生产中各道工序中影响热处理质量的各种因素进行控制，从而保证齿轮的强度与精度。编制本标准，就是为了更好地对齿轮气体渗碳热处理工艺及其质量进行控制。

本标准主要参考 ISO 6336.5 和国外先进工业国和协会的 AGMA 2001、AGMA 2004、AGMA 246.01A、JIS B 6914，以及我国的 GB/T 8539、JB/T 16924 等标准制定的。

二、标准应用说明

1. 检验项目技术数据及检测部位

检验项目主要从影响齿轮的抗弯强度与接触强度的冶金因素考虑。技术数据按 GB/T 8539 及有关行业标准，根据齿轮的服役条件对齿面硬度、心部硬度的测定部位做了规定。

（1）齿轮材料。经调查，我国渗碳齿轮所用材料主要为 20CrMnTi，其次为 20CrMo、20Cr2Ni4A、15CrNi3Mo，另外还有 20Cr、20CrMnMo、20CrNiMoNb、18Cr2Ni4WA、20MnVB、20MnTiBRE 以及引进钢种 8620、17CrNiMo6、16MnCr5、20MnCr5、ZF6、ZF7、HSMnCB420H、SCM420H、SCM822H、21NiCrMo5、SCr420H、19CN5 等。为了使我国渗碳齿轮用钢系列化，本标准根据服役条件及钢材淬透性分档给出了推荐材料。在反馈意见中，有几个单位分别提出增加 22CrMo、20Cr2MnMo、S17Cr2Ni2Mo 等材料。由于现在各单位按用户要求进行协作生产，材料品种越来越多，本标准未能一一列出，而是将常用钢种分档推荐。另外，在适用范围一栏中，未能将各行业用钢都列进去。因此，并不意味着不能选用其他钢材。对于所推荐的钢材 GB/T 3077 中没有的，其化学成分、力学性能等项目由用户与钢厂协商。

（2）关于表面硬度与测量部位。目前我国对于渗碳淬火齿轮的硬度，绝大多数企业是测定齿顶的硬度。对于无法用洛氏硬度计测量的齿轮，采用锉刀测定。在齿轮行业，许多企业引进或购置国内生产的齿面硬度计及里氏硬度计，测定齿面硬度。根据齿轮的工作条件，应以啮合部位为考核目标。限于目前条件，可用洛氏硬度计测定齿顶或端面，或用维氏硬度计测表层硬度即距表面 0.05 ~ 0.10mm 的硬度，也可用肖氏硬度计或里氏硬度计测定齿面硬度。但是，在使用这些硬度计时，均应注意操作方法及使用对象，否则不能正确反映产品质量。

（3）有效硬化层深度测定部位及硬度界限值。对齿轮而言，测试部位应为齿宽中部法截面上。在分度圆附近垂直于齿面，向内部测定至550HV处。对于齿形试样取样方法同齿轮；对于圆形或方形试样，均应在法截面上，垂直于表面向内部测定。有效硬化层深度是仲裁的惟一方法。在生产过程中可用其他方法测定，但最终产品应达到有效硬化层深度指标。

按GB/T 9450规定，硬度界限值为550HV。而齿轮图样上，特别是合作生产，引进产品的图样，硬度界限值根据材料不同，其值不同，有600HV、630HV、637HV、650HV等，也有标注513HV5或50HRC的。AGMA 2001标准中阐明表面硬化齿轮要求有适当的硬化层深度，以承受由齿面接触载荷引起的表层切应力和齿根拉应力，但硬化层也不能太深，以免引起齿面过脆和心部产生高的残余拉应力。渗碳淬火齿轮的有效硬化层深度定义为齿面到洛氏硬度降到50HRC处的深度。AGMA 2004中叙述的更为详细。当轮齿的整个截面硬度值可能都不低于50HRC时，应采用下述方法测量有效硬化层深度：在齿宽中部1/2齿高处测量基体材料硬度。当硬度值高于45HRC时，每高1HRC，应在原50HRC上加1HRC作为新的有效硬化层深度的临界值，例如，心部硬度为47HRC，则有效硬化层深度的界限值为52HRC。

本标准为了与国际标准及国家标准相吻合，规定硬度界限值为550HV，也可按生产企业与用户协议选取其他硬度值。

（4）心部硬度及测试部位。心部硬度值与钢材的淬透性、轮齿的横截面尺寸有关。有的技术文件给出强度指标，在生产中测出硬度值后查表换算成强度值。本标准推荐为30~45HRC。

关于心部硬度的测定部位，各国测定方法不同，本标准为轮齿中心线与齿根圆相交处。日本也是这样，法国雪铁龙等公司规定为轮齿中心线上，距齿顶2.9m处（m为模数）。也是国家规定，在轮齿分度圆与轮齿中心线相交处，并且该处硬度与齿根圆处硬度差不大于5HRC。ISO 6336-5中对心部硬度的测定部位规定在齿根圆角危险断面向心部做垂线，距表面5倍的渗层深度处，但不得小于1m。GB/T 8539已据此做了修订。调研表明，我国绝大多数生产企业仍然测轮齿中心线距齿顶2/3处，虽然GB/T 8539已按国外标准规定为轮齿中心线与齿根圆相交处，但只有合作生产，或有出口产品的齿轮才按此执行。许多企业认为过去检验2/3处未出现过问题，现在改到齿根处，就有可能不合格，即达不到30HRC。我们认为，这就需要设计者根据材料及承载能力提出最低心部硬度要求，并确定测定部位。由于ISO 6336规定的部位较难测定，本标准仍采用美国AGMA及日本的规定，即测定轮齿中心线与齿根圆相交处如图6.2-1所示。也可与用户协商确定测定位置及硬度值。

（5）表层组织。本标准推荐按各行业金相级别图评定马氏体、残留奥氏体、碳化物、表层脱碳、表面非马氏体。特别提出的是各行业根据齿轮服役条件，适当要求各项指标，以免把不合格件评为合格件，致使齿轮产生早期失效，也应当避免把合格的齿轮评为不合格，而造成不必要的浪费。

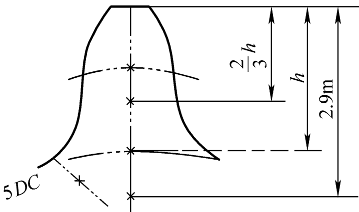


图6.2-1 心部硬度测试部位

2. 验证测试

在本标准编制过程中，对许多齿轮生产企业进行了调研，各企业为检验的可信性做了大量工作。西安煤矿机械厂对齿条产品用洛氏硬度计和里氏硬度计分别测定了齿顶、侧面的平面及底面的硬度。测定结果见表6.2-1。齿条材料为18Cr2Ni4WA，渗碳后整体淬火，技术要求硬度为（58±2）HRC。

从表6.2-1测试数据可见，洛氏硬度测定值大部分稍高于用里氏硬度计测定后换算出的硬度值，且均在技术要求范围内。由此可见，对于大型齿轮用里氏硬度计测定齿面硬度是可行的。但应注意，在操作过程中，测头一定要垂直于测定表面。

表 6.2-1　齿条各部位与不同硬度计测试值

齿顶			侧面（平面）			侧面		底面	
洛氏硬度计	里氏硬度计		洛氏硬度计	里氏硬度计		里氏硬度计		里氏硬度计	
	里氏	HRC		里氏	HRC	里氏	HRC	里氏	HRC
61.5	829	61.4	61	807	59	806	58.9	807	59
62.5	828	61.3	61.5	802	58.5	810	59.4	817	60
60	830	61.6	61.5	806	58.9	803	58.6	810	59.4
60.5	838	62.4	61	800	58.3	811	59.5	808	59.1
61.5	822	60.7	61	803	58.6	803	58.6	807	59
60	842	62.9	61	812	59.6	813	59.7	807	59
62	828	61.3	61.2	810	59.4	806	58.9	803	59.2
62	830	61.6	61.5	814	59.8	806	58.9	806	58.9
62	824	60.9		815	59.9	809	59.2	805	58.8
61.5	835	62.1		816	60	807	59	823	60.8
61	829	61.4		820	60.5	810	59.4	818	60.2
61.5	826	61.1		809	59.2	796	57.8	803	58.6
60	816	60.7		819	60.3	807	59	799	58.1
61	814	61.2		808	59.1	826	61.1	809	59.2
				822	60.7	800	58.3		

在现场生产验证中，选取了陕西汽车齿轮厂随炉试样。该厂试样为 ϕ12.7mm，长 30mm，材料为 8620。试样渗碳淬火后磨削一平面，使其在平面上测定的洛氏硬度值为 50HRC。然后测量尺寸为 11.38mm，有效硬化层深度为（12.7 − 11.38）mm = 1.32mm，测定试样如图 6.2-2 所示。

洛氏硬度计测定 5 点均为 50HRC，非常均匀。这种方法得到外商认可，可以此来控制齿轮热处理质量。

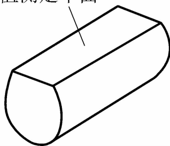


图 6.2-2　有效硬化层深度试样

将该试样请沈阳汽车齿轮厂测定，该平面 5 点也均为 50HRC。然后用美国进口的维氏硬度计测定，选用负荷为 9.8N（1kgf）及 1.96N（0.2kgf）。在该平面测定 9 点，其平均值为 599.7HV，换算成洛氏硬度为 55.2HRC。而用 1.96N（0.2kgf）测 5 点，平均值为 572HV0.2，换算成洛氏硬度为 53.2HRC。另外，在该试样的法截面上，测定了硬度梯度，其结果如图 6.2-3 所示。由该图可见，该试样硬度梯度较为平缓。根据标准规定，对于离表面三倍于有效硬化层处硬度大于 450HV 时，可采用比 550HV 大的界限硬度值（以 25HV 为一级）来测定有效硬化层深度。该试样心部硬度为 479HV，因此，有效硬化层深度的硬度界限值应为（550 + 25）HV = 575HV。从图 6.2-3 中可以找出有效硬化层深度为 1.36mm（9.8N）。测试力为 1.96N（0.2kgf），有效硬化层深度为 1.34mm。由此可以看出：①用圆棒试样磨成小平面测试 50HRC 是简便、可行的方法；②要按图样标注的硬度选择硬度计及确定测试方法，才能正确反映真实的有效硬化层深度。

值得提出的是，在磨成的小平面上所测到的洛氏硬度是该层以下的综合硬度。若在横截面上测洛氏硬度虽可视为这一均层的硬度，但由于负荷大，压痕大，故而也是截面的硬度梯度的综合值。因此，在横截面上，不宜用洛氏硬度计测定有效硬化层深度。AGMA 标准中也规定，有效硬化层深度的测试方法与界限值由用户与制造企业协商确定。

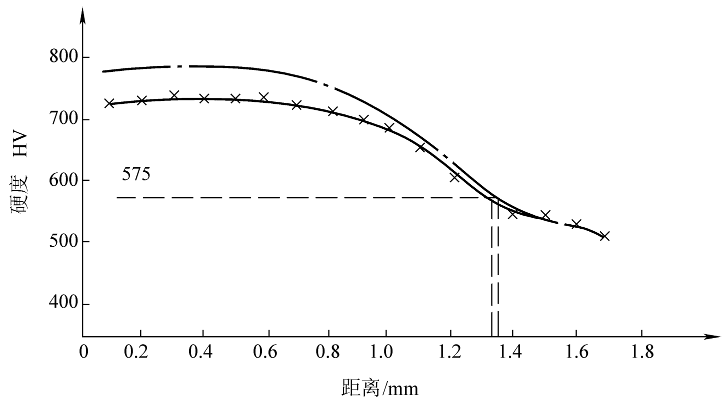


图 6. 2-3　8620 试样渗碳淬火后硬度梯度

图 6. 2-3 反映出，用显微硬度计不同负荷测出的表层下硬度相差较大，而在硬度 600HV 以下几乎无差别。这可认为是负荷小，测在残留奥氏体与马氏体的混合相上所致，另外，测量误差也是影响因素之一。因此，应尽量按标注所规定的负荷测试，避免换算，这才有可比性。

3. 注意事项

（1）渗碳淬火工艺在齿轮行业中应用范围极广，本标准不可能对所有齿轮规定出具体数据，只能规定出通用参考数据。各企业应根据具体设备、条件、所用材料及技术要求制定工艺，并提出能反应产品质量的检验项目。

（2）任何标准都会被修订，因此本标准中所涉及的参照标准都应按最新版本为宜，这样才不至于产生矛盾。

（3）对有效硬化层深度界限值的说明。有单位提出 550HV 对应 52HRC，我们已经注意到这个问题，并且作了分析比较。目前齿轮计算方面的国际标准 ISO 6336（1993 年版本），以及美国标准 AGMA 2001、AGMA 2004 等均以 50HRC 作为最小有效硬化层深度界限值。而我国颁布的 GB/T 9450《钢件渗碳淬火有效硬化层深度的测定和校核》是等效采用 ISO 2639 的，该标准规定有效硬化层深度的界限值为 550HV。这两个国际标准的界限值不一致。在制定本标准时，应靠国际标准，又要符合国家标准。从陕西汽车齿轮厂和沈阳汽车齿轮厂对同一试样的测定结果可以看到，由于测试仪器测试力不同，测试值有差异。为了慎重起见，要设计者提出设计依据，由用户和生产企业协商确定有效硬化层深度的测试方法与界限值。

另外，GB/T 230《金属洛氏硬度试验方法》中规定，应尽量避免将洛氏硬度值换算成其他硬度值或抗拉强度。当必须进行换算时，应按照 GB/T 1172《黑色金属硬度及强度换算值》换算。（郑州机械研究所李耀珍供稿）

三、标准内容（JB/T 7516—1994）

齿轮气体渗碳热处理工艺及其质量控制

1　主题内容与适用范围

本标准规定了气体渗碳热处理齿轮的材料选择、热处理设备、工艺及其质量控制。

本标准适用于钢制齿轮的气体渗碳、淬火、回火处理。

2　引用标准

GB 1818　金属表面洛氏硬度试验方法
GB 1979　结构钢低倍组织缺陷评级图
GB 3077　合金结构钢技术条件
GB 3480　渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法
GB 4340　金属维氏硬度试验方法
GB 5216　保证淬透性结构钢技术条件
GB 6394　金属平均晶粒度测定方法
GB 8539　齿轮材料及热处理质量检验的一般规定
GB 9450　钢件渗碳淬火有效硬化层深度的测定与校核
GB 9452　热处理炉有效加热区测定方法
GB 10561　钢中非金属夹杂物显微评定法
GB/T 230　金属洛氏硬度试验方法
GB/T 13299　钢的显微组织评定法
JB/T 6077　齿轮调质工艺及其质量控制
ZB G51 108　防渗涂料技术条件
ZB J36 012　钢件在吸热式气氛中的热处理
ZB/T J17 004　齿轮火焰及感应淬火工艺及其质量控制
ZB T04 001　汽车渗碳齿轮金相检验

3　齿轮材料

3.1　选材原则

3.1.1　所选齿轮钢材经各种机械加工和气体渗碳热处理后能满足产品性能的设计要求。

3.1.2　材料应为本质细晶粒钢。

3.1.3　对可靠度要求高的齿轮及大批量生产的齿轮应采用保证淬透性结构钢。

3.1.4　材料的热加工性能及切削加工性能应能满足生产要求。

3.1.5　考虑经济性和货源情况。

3.2　推荐渗碳齿轮用钢材

根据使用条件及钢材淬透性分档选用，除另有规定外，推荐钢材见表1。

表　1

牌　号	应　用　范　围
20Cr	机床齿轮、轻载荷齿轮
20CrMo 20CrMnTi 20CrMnMo 20MnVB	汽车、拖拉机、机床、工程机械、船用减速器、机车及一般工业齿轮
12CrNi3 15CrNi3 20CrNi2Mo 20Cr2Ni4A 18Cr2Ni4WA	化工、冶金、工程机械、机车、电站、船舶、航空、坦克等高速齿轮及承受冲击载荷较大的重载齿轮

3.3 材料冶金质量

3.3.1 材料的化学成分、力学性能、一般疏松、中心疏松、偏析及表面质量按 GB 3077、GB 1979 规定。GB 3077 中未列入的材料，其技术条件及材料的尺寸精度按双方协议控制。齿轮制造厂应具有钢厂质量保证书，并应进行抽检复核。

3.3.2 材料的奥氏体晶粒度应为 5 级以上，不应有混晶现象，按 GB 6394 检验。

3.3.3 材料的淬透性带应在 GB 5216 规定的范围内。有特殊要求时，距端淬试样末端一定距离的硬度范围由用户与钢厂协商确定。

3.3.4 非金属夹杂物按 GB 10561 检验，氧化物、硫化物应各不大于 3 级。对可靠度要求高的齿轮，需保证材料的纯度，采用以真空冶炼、电渣重熔或真空重熔等方法冶炼的钢材。材料的含氧量应控制在 $20\times10^{-4}\%$ 以下，含氢量控制在 $5\times10^{-4}\%$ 以下，含硫量小于 0.015%。当有特殊要求时，按双方协议规定。

3.3.5 材料的带状组织按 GB/T 13299 检验，一般应不大于 3 级。

3.4 锻件质量

3.4.1 齿轮锻件的始锻、终锻温度应严格控制。

3.4.2 锻造时应使坯料整个截面得到均匀变形，锻造比按 GB 8539 规定。若采用封闭锻造，其流线应基本上呈径向分布。对大型轴齿轮按有关行业规定。

3.4.3 锻坯不应有裂纹、折叠、过热及其他内部缺陷，也不能有最后加工无法除去的表面缺陷。

4 热处理设备技术要求

4.1 渗碳设备

4.1.1 渗碳可采用连续式气体渗碳炉、密封箱式炉、井式气体渗碳炉等。

4.1.2 连续式气体渗碳炉及密封箱式炉应能在加热、保温、冷却等各个阶段所设定的温度下保持所需的时间。

4.1.3 连续式气体渗碳炉、密封箱式炉及井式气体渗碳炉的有效加热区内的温度应控制在预定值的 ±10℃ 以内。有效加热区按 GB 9452 的规定测试。

4.1.4 渗碳加热设备应结构合理，设有使炉内气氛均匀流动的装置，渗碳加热室应具有良好的密封性，渗碳的原料供给系统应安全可靠。

4.2 渗碳后淬火加热设备

4.2.1 转炉、密封箱式炉和井式气体渗碳炉等加热设备，其有效加热区内的温度应控制在预定值的 ±10℃ 以内。

4.2.2 感应加热设备应符合 ZB/T J17 004 要求。

4.2.3 盐浴炉加热时，盐浴不应对齿轮有腐蚀、脱碳及其他有害影响。

4.3 淬火冷却设备及冷却介质

4.3.1 淬火冷却设备应具有可以控制的加热、冷却循环系统及搅拌装置。

4.3.2 淬火冷却设备应装有防火排烟装置。

4.3.3 淬火冷却介质应具有齿轮淬火所要求的冷却能力，且不易老化，其技术要求应符合有关标准。在生产现场应有定期分析和调整的管理制度，以确保淬火质量。

4.4 清洗设备

清洗设备应具有浸泡、喷淋、油水分离等功能。清洗液可用碱水，其温度为 80～90℃。也可用专用清洗剂。

4.5 回火设备

4.5.1 回火可采用连续式或周期式炉，其炉内有效加热区的温度应控制在预定值的 ±10℃ 以内。

4.5.2　回火设备应配有排油烟装置。

4.6　温度的测定及控制设备

4.6.1　渗碳淬火加热炉、回火炉应配有温度测控、自动记录及报警装置，淬火冷却设备应配有温度测控装置。

4.6.2　测温仪表及热电偶应定期校验，并应符合 GB 9452 的规定。

4.7　炉内气氛的测定及控制设备

炉内气氛可采用 CO_2 红外仪、氧探头、电阻丝、露点仪、定碳片及取气分析等任一方法进行测定与控制，相关设备按各自使用说明书操作。碳势控制精度应在 ±0.05% 范围内。

5　渗碳前的预备处理

5.1　正火

5.1.1　锻造后的齿轮锻坯应进行正火，正火温度一般为 890～950℃，保温时间根据锻坯有效尺寸、装炉情况及炉型而定，锻坯出炉后不应堆放冷却，而应散开空冷或喷雾冷却。

5.1.2　对于某些合金结构钢，当采用正火加回火工艺时，正火温度略高于渗碳温度，回火温度为 600～680℃。

5.1.3　根据钢材特性和锻造生产具体条件，可采用锻造余热等温退火或锻造余热正火工艺。

5.1.4　锻坯正火后或正火加回火后的硬度应符合工艺文件规定，其测试部位可参照 JB/T 6077；硬度应均匀，单件硬度差值≤25HRW，同一批硬度差≤40HRW。

5.2　等温退火

对于高精度齿轮，为增加预处理组织均匀性，可采用等温退火工艺。

5.3　去应力处理

对要求高的齿轮以及模数大于 14mm 的齿轮，齿形粗加工后应进行去应力退火处理或在 600～650℃进行高温回火。

6　渗碳处理前的准备工作

6.1　探伤

对可靠度要求高的齿轮应进行超声波或磁粉探伤检验，其技术指标可按 GB 8539 或各行业规定。

6.2　表面清理

待渗碳的齿轮及吊装夹具均应进行清理或置于 450～550℃炉内汽化脱脂，除去表面油污、铁屑及其他有害杂物。

6.3　防渗措施

对齿轮不需渗碳的部位，可以采用防渗涂料涂敷表面。防渗涂料应附着牢固，渗碳处理后应易脱落，且对齿轮表面质量无有害影响，其技术指标按 ZB G51 108 规定。也可采用镀铜或预留加工量等防渗措施。

6.4　吊装夹具

根据处理设备类型及齿轮的结构特点设计吊装夹具。

6.4.1　夹具的结构、尺寸应保证其在高温状态下具有足够的刚性。吊装夹具经多次使用后不应对齿轮有较大的畸变影响，必要时必须及时更换。

6.4.2　夹具应保证在处理过程中齿轮各部位加热、冷却均匀，渗碳气氛流动均匀，并使生产操作安全方便。

6.5　随炉试样

随炉试样材料应与被处理齿轮材料相同，其形状尺寸应能代表齿轮实际处理情况，根据需要可

采用以下任一形式。

6.5.1　仿形试样或齿形试样，应至少含有3个轮齿。齿根以下截面厚度等于齿根圆齿厚的二分之一，或根据齿轮模数选取，一般应大于10mm；齿宽为齿根圆齿厚的2~3倍，如图1所示。

6.5.2　渗碳层检验试样见表2。

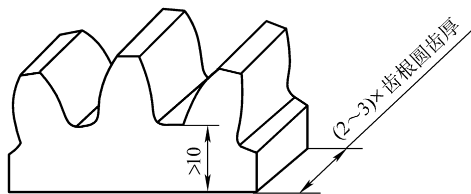


图1　齿形试样

表　2　（单位：mm）

模数	圆棒试样尺寸(直径×长度，$d \times l$)
≤6	16×35
>6~18	25×50
>18	直径=1/2齿高处的齿厚，长度=(2~3)×直径

6.5.3　心部硬度与心部组织检验试样见表3。

表　3　（单位：mm）

模　　数	圆棒试样尺寸（直径×长度，$d \times l$）	模　　数	圆棒试样尺寸（直径×长度，$d \times l$）
≤6	32×76	>10~18	76×180
>6~10	56×130	>18	90×205

6.5.4　采用盘形试样时，其厚度应大于表2、表3中相应圆棒试样直径的70%，而直径应大于厚度的3倍。

6.5.5　用于锥齿轮的圆棒试样，其直径大小可按齿宽中部模数值参照表2和表3确定。

6.5.6　随炉定碳剥层圆棒试样尺寸：$d \times l$，25mm×100mm。

6.5.7　随炉试样数量根据设备类型及装炉情况确定，试样应放置在能代表齿轮热处理质量的部位。周期式渗碳炉的中检试样，按各企业规定执行。

6.6　渗碳原料的选用

根据热处理设备的类型、渗碳原料的特性及供应状况选择。

6.6.1　滴注式气体渗碳炉可采用专用渗碳油、煤油、丙酮、异丙醇、醋酸乙酯、甲苯等任一种作渗碳剂，用甲醇作稀释剂。

6.6.2　可控气氛渗碳时，吸热式气氛原料气为天然气和液化石油气，其成分应符合ZB J36 012规定。

6.6.3　渗碳原料应成分稳定、有害杂质含量低，含硫量应在0.02%以下，检验符合要求后使用。

6.7　对于新购置的及较长时间未作渗碳使用的设备以及新夹具应进行预渗处理。

7　工艺控制

7.1　渗碳工艺规范

7.1.1　装炉

7.1.1.1　将准备就绪的齿轮和随炉试样安放在吊装夹具上。对于中、小模数的薄壁齿轮应采用挂装或托垫形式的夹具，对带有内花键的齿轮应支承合理。

7.1.1.2　齿轮装在夹具上时，轮齿之间不得有搭接，且轮齿工作面之间应留有足够间隙。

7.1.1.3　井式气体渗碳炉的中检试样可在齿轮装炉后或排气结束后放入试样孔。

7.1.2　排气

7.1.2.1　齿轮装炉后，温度达750℃以上时大量滴入甲醇，达850℃后再通入渗碳剂。

7.1.2.2　当采用井式气体渗碳炉处理易畸变和可靠度要求高的齿轮以及装炉量较大时，应采取分段均温加热方式，同时通入氮气开始排气，炉温升至750℃后滴入甲醇。

7.1.2.3　当炉温达到设定的渗碳温度，且炉气碳势达0.8%时，即为排气结束，转入强渗阶段。

7.1.3　渗碳温度和时间

渗碳温度一般为890～930℃。渗碳时间根据钢材特性、渗层深度要求、渗碳温度、渗碳原料特性、炉型等条件决定。

7.1.4　扩散

对于要求渗层梯度平缓的齿轮，强渗后应进行扩散。但当要求有效硬化层深度小于1mm时，可不进行扩散。

7.1.4.1　当使用井式气体渗碳炉时，在强渗阶段后期取出中检试样，检验渗层深度，根据技术要求适时转入扩散阶段。

7.1.4.2　从强渗阶段转入扩散阶段时，一般温度不变，并应合理调整渗碳原料的比例及用量，必要时可通入能快速降低炉内碳势的气体，如氮气、空气等。

7.1.4.3　当使用井式气体渗碳炉时，在扩散阶段末期检查中检试样，根据要求的渗层深度及表层含碳量确定实际扩散时间。

7.1.5　碳势控制原则

7.1.5.1　强渗期碳势控制：一般情况下，在不出现炭黑及工件表面碳化物级别允许的前提下，在强渗期炉内应具有最高碳势，以获得最快的渗速。

7.1.5.2　扩散期碳势控制：一般以工件表层达到设计要求的碳浓度确定炉内碳势。

7.1.5.3　当有微机控制时，应能根据齿轮渗层碳浓度分布的设计要求进行自动测控。

7.1.6　降温处理

根据材料及工艺要求，渗碳后采用不同的降温处理。需直接淬火的齿轮，可在渗碳炉内降温至840～860℃保温0.5～1h后投入淬火介质中冷却；需重新加热淬火的齿轮，在渗碳炉内降温至820～880℃保温适当时间后移至冷却装置中冷却，并应采取防氧化脱碳措施，齿轮冷至350℃以下方可空冷；当齿面有较大加工留量时可采用空冷；镍铬含量较高的材料，冷至150～200℃后进行高温回火。

7.2　淬火工艺规范

7.2.1　直接淬火

齿轮经气体渗碳后在渗碳炉内降温至840～860℃保温0.5～1h，尔后投入淬火介质中冷却。用井式气体渗碳炉处理的齿轮，出炉后应尽快投入淬火介质内，以避免表面产生异常组织。

7.2.2　重新加热淬火

对于渗碳后需机械加工或由于钢材特性渗碳后需预冷，以及需经1～2次高温回火或球化退火的齿轮应进行重新加热淬火。

7.2.2.1　一次加热淬火：一般加热温度为820～860℃。对用连续式气体渗碳炉或密封箱式炉渗碳的齿轮，为细化晶粒在冷却装置中冷至600℃后，再重新加热至淬火温度。

7.2.2.2　二次加热淬火：第一次淬火加热温度为860～880℃，保温后淬火冷却，待工时冷至室温后再进行第二次淬火，其第二次加热温度为780～800℃，冷却方法同前。

7.3　清洗

齿轮及吊装夹具经淬火冷却至适当温度后方可进行清洗。

7.4　回火工艺规范

7.4.1　齿轮清洗后应及时低温回火，一般间隔不超过4h。根据图样技术要求的硬度及钢种确定回

火温度，一般为160～220℃，回火时间为2～4h。对于高镍铬钢大型齿轮要充分回火，一般为10～20h。

7.4.2 对于高精度齿轮，磨齿后应进行去应力回火，温度为140～160℃，保温时间不少于2h。

7.4.3 对于合金元素含量较高的钢，渗碳缓冷后在重新加热淬火之前进行一次或二次高温回火，回火温度为600～700℃，每次时间为2～6h。

7.5 冷处理

一般齿轮不采用冷处理。对于精度和可靠度要求高的齿轮，当渗碳表层组织中有过多残留奥氏体，且最终硬度要求58HRC以上时方进行冷处理。

7.5.1 齿轮在冷处理前后均应进行低温回火处理，以免产生显微裂纹。

7.5.2 冷处理温度为－70～－80℃，时间为2h，大齿轮适当延长时间。

7.5.3 齿轮经冷处理后应使其温度回升到室温，再进行低温回火，但间隔不得超过4h。

7.6 喷砂或喷丸

热处理后齿轮按要求进行喷砂清理或喷丸强化。

8 质量控制与检验方法

8.1 随炉试样检验

8.1.1 表面硬度

8.1.1.1 根据有效硬化层深度选用洛氏、表面洛氏等硬度计，选择方法见表4或按各行业规定，并按GB/T 230或GB 1818规定检测。硬度值应符合图样技术要求。

表 4

有效硬化层深度/mm	硬度计量类别	硬 度 范 围
>0.3～0.5	HR30N	75～80
>0.5～0.8	HR45N	63～69
>0.8	HRC	58～62

8.1.1.2 当图样要求测表层硬度时，用维氏硬度计在试样截面上距表面0.05～0.10mm处测定，测定方法按GB 4340。对渗碳淬火后需要磨齿的齿轮，表面硬度的测定部位应为从试样表面至轮齿单侧加工余量深度之处。

8.1.1.3 表面硬度的均匀性要求见GB 8539。

8.1.2 心部硬度

心部硬度值一般要求30～45HRC，可由设计者根据齿轮使用条件选定。

8.1.2.1 齿形试样心部硬度的测定位置参见GB 8539。

8.1.2.2 当用圆棒试样时，在试棒长度中部截取10mm厚的试样，在试样横截面中心处测定。试样尺寸与模数关系应符合表3。

8.1.3 有效硬化层深度

8.1.3.1 对于渗碳淬火后需加工的齿轮，渗碳的工艺层深应为图样上标注的深度加上轮齿单侧的加工余量。

8.1.3.2 有效硬化层深度的测定应以硬度法为准，测定部位按GB 8539规定，测定方法按GB 9450、GB 4340规定，也可按各行业规定或生产厂与用户的协议。

8.1.3.3 用金相法、断口法检测渗层深度时，应预先找出与硬度法测定有效硬化层深度的关系，以保证成品齿轮满足图样技术要求。

8.1.3.4　渗碳齿轮有效硬化层深度推荐值见附录 A（参考件）。

8.1.3.5　当图样要求测定齿根有效硬化层深度时，应在齿形试样的法截面上向内测定。

8.1.3.6　若随炉试样有效硬化层深度不符合技术要求，则从该批中至少再抽取一件齿轮解剖测定，并以其测定结果为准。

8.1.4　表层含碳量

8.1.4.1　表层含碳量为表面至 0.10mm 深度范围的平均含碳量。

8.1.4.2　如无特殊要求，表层含碳量一般控制在 0.8% ~1.0% 范围内。原则上不低于相应钢材的共析含碳量。

8.1.4.3　表层含碳量可用试样剥层进行化学分析，也可用金相法判别或用直读光谱仪分析。

8.1.4.4　应用各种碳控技术对渗碳过程进行控制时，应预先找出各种钢材渗碳时，其表层含碳量与气氛碳势的关系。

8.1.4.5　当新产品试制或工艺调试时，应检验表层含碳量。在批量生产中，若渗碳过程无任何气氛控制措施时，应定期检验表层含碳量。

8.1.5　表层组织

8.1.5.1　残留奥氏体：按各行业金相检验级别图评定。一般齿轮应控制在 30% 以下，高精度齿轮应控制在 20% 以下。对于留有加工余量的齿轮，评定部位按内控标准规定。

8.1.5.2　马氏体：按各行业金相检验级别图评定。对于齿形试样应以分度圆附近的严重视场作为评判依据。

8.1.5.3　碳化物：按各行业金相检验级别图评定。当采用 ZB T04 001 碳化物评级图时，若试样在 400 倍下无明显碳化物，但试样表面硬度及含碳量合格，表层组织不为亚共析状态时，可评为 1 级。

8.1.5.4　表层脱碳：试样经 4% 硝酸酒精溶液轻腐蚀后，置于显微镜下放大 400 倍观察，对于齿形试样着重检查齿根圆角处，脱碳层深度应不大于 0.02mm 或按 GB 8539 分档控制。

8.1.5.5　表层非马氏体：试样经 4% 硝酸酒精溶液轻腐蚀后，置于显微镜下放大 400 倍观察，对于齿形试样检测分度圆及齿根圆角处，按 GB 8539 分档控制。

8.1.6　心部组织

按各行业规定或生产厂与用户的协议检验。

8.1.7　至表面硬度降、至心部硬度降

当图样要求测定至表面硬度降和至心部硬度降时，参见 GB 8539 或按各行业规定执行。

8.1.8　心部冲击性能

当用户有要求时，在随炉圆棒试样或齿坯试样上取料，加工成冲击试样，进行冲击试验。

8.2　齿轮热处理质量检验

8.2.1　外观

齿轮经热处理后，表面不得有氧化皮、碰伤、剥落、锈蚀等缺陷。

8.2.2　齿面硬度

8.2.2.1　应根据齿轮重要程度、批量及炉型规定抽检数量。

8.2.2.2　测定部位以齿面为准，也可测齿顶或端面，但应考虑其与齿面硬度的差异。测量点要求分布在约相隔 120°的三个轮齿上，每个轮齿上一般不得少于 2 点，其硬度值应符合图样技术要求。

8.2.2.3　硬度计应稳定、可靠、重现性好。当选用齿面硬度计检测齿面时，应将测头垂直于齿面；当用洛氏硬度计检测齿顶时，应将被测处用砂纸打磨，其表面粗糙度应符合 GB/T 230 规定，测量时应放置平稳；当用锉刀检验齿顶、齿根硬度时，锉刀应为标准锉刀；当用肖氏硬度计或里氏硬度

计 D 型冲头装置检测时，齿轮的有效硬化层深度必须大于 0. 8mm。

8. 2. 2. 4 对于无法用硬度计检测的齿轮，一般以随炉试样的测量值为准。

8. 2. 2. 5 当硬度不符合技术要求时，应加倍抽检，若仍不符合则应根据具体情况进行返修或判废。

8. 2. 3 有效硬化层深度

8. 2. 3. 1 当采用各种碳控技术控制渗碳过程且生产质量稳定时，可以随炉试样的检测结果为准。抽检周期可根据具体情况确定。

8. 2. 3. 2 对批量生产的齿轮，当渗碳气氛无任何控制措施时，在试样合格的情况下，每周应抽检一件齿轮解剖测定。检验方法同 8. 1. 3 条。

8. 2. 4 表层组织、心部硬度、心部组织

一般以随炉试样的检测结果为准。工厂可根据具体情况，确定解剖齿轮检验项目及检验周期。检验方法同 8. 1. 5、8. 1. 2、8. 1. 6 条。

8. 2. 5 裂纹

8. 2. 5. 1 在热处理和磨齿后，可靠度要求高的齿轮应 100% 检验，一般齿轮应进行抽检。磨加工后表面一般不允许有裂纹。

8. 2. 5. 2 裂纹的检验方法可采用以下任意一种，如磁粉探伤、超声波探伤、荧光浸透及染色浸透探伤等。

8. 2. 5. 3 冷处理后微裂纹的检验用显微镜放大 400 倍观察随炉试样，在 0. 30mm × 0. 25mm 的矩形范围内，长度大于 1 个晶粒的微裂纹不得超过 10 个。

8. 2. 6 畸变

8. 2. 6. 1 热处理后畸变量应控制在有关技术要求的范围内。

8. 2. 6. 2 批量生产时，抽检项目和件数按产品图样的技术要求。

8. 2. 6. 3 单件生产的齿轮应定期抽检。

9 记录内容

a. 齿轮材料、数量、件号、炉号；

b. 渗碳热处理工艺流程及工艺参数；

c. 检验的项目、部位及结果；

d. 热处理操作人员、检验人员的姓名或代号；

e. 操作、检验日期。

附 录 A
渗碳齿轮有效硬化层深度推荐值
（参考件）

A1 渗碳齿轮有效硬化层深度推荐值见表 A1。

表 A1 （单位：mm）

模数 m	渗碳齿轮有效硬化层深度	模数 m	渗碳齿轮有效硬化层深度
	界限值：550HV		界限值：550HV
1. 5	0. 25 ~ 0. 50	3	0. 65 ~ 1. 00
1. 75	0. 25 ~ 0. 50	3. 5	0. 65 ~ 1. 00
2	0. 40 ~ 0. 65	4	0. 75 ~ 1. 30
2. 5	0. 50 ~ 0. 75	5	1. 00 ~ 1. 50

（续）

模数 m	渗碳齿轮有效硬化层深度	模数 m	渗碳齿轮有效硬化层深度
	界限值：550HV		界限值：550HV
6	1.30～1.80	16	3.00～3.90
7	1.50～2.00	18	3.00～3.90
8	1.80～2.30	20	3.60～4.50
9	1.80～2.30	22	3.70～4.80
10	2.00～2.60	25	4.00～5.00
(11)	2.00～2.60	28	4.00～5.00
12	2.30～3.20	32	4.00～5.00
14	2.60～3.50		

A2　渗碳淬火齿轮分度圆处最小有效硬化层深度 DC_{min}，可根据接触载荷引起最大剪切应力的深度计算，计算公式见式（A1）。

$$DC_{min} = \frac{\sigma_H d_1 \sin\alpha_t}{U_H \cos\beta_b} \times \frac{z_2}{z_2 \pm z_1} \tag{A1}$$

式中　DC_{min}——最小有效硬化层深度（mm）；

σ_H——计算接触应力（MPa）；

d_1——小齿轮分度圆直径（mm）；

α_t——端面分度圆压力角；

β_b——基圆螺旋角；

U_H——硬化工艺系数（MPa），渗碳齿轮的 U_H 为 4.4×10^4MPa；

z_1——小齿轮齿数；

z_2——大齿轮齿数；

“+”——用于外啮合传动；

“-”——用于内啮合传动。

第三节　齿轮碳氮共渗工艺及质量控制

一、概论

该标准是对 ZB J17 002—1988 的修订。修订时，充分考虑了现代制造业对齿轮质量要求的发展趋势，参考一些国外企业碳氮共渗齿轮的技术条件和国内最新的气体碳氮共渗工艺及齿轮质量控制等方面的标准。本标准基本能够满足目前国内齿轮气体碳氮共渗的工艺及质量要求。

二、标准应用说明

（1）该标准与 ZB J17 002—1988 相比，主要进行了以下几个方面的修订。

1）对原标准个别条款的排列顺序进行了调整。调整的原则是根据工艺的先后顺序。把原“工艺规范”项中的防渗处理内容提到“处理前的验收和准备”项中；把原“工艺规范”项中有关排气的内容做了顺序调整。

2）对原标准的“处理前的验收和准备”项中“齿轮表面不得有锈斑、油污、碰伤、裂纹等”拆分为两方面内容来处理。因为齿轮表面的锈斑、油污经除锈、去油处理后仍为合格品，而齿轮表面有碰伤、裂纹则属于废品。该项中增加了“齿轮表面不得有水、切削液等”内容，因为若把水分带入共渗炉中，不利于炉气成分的稳定和控制，进而影响渗层质量。

3）丰富了原标准的气体碳氮共渗工艺内容，增加了齿轮气体碳氮共渗工艺中装炉、升温、排气的相关内容。

4）把原标准的“质量控制与检验方法”项中有关金相检验内容进行了合并，并增加了齿轮碳氮共渗金相检验标准。

5）增加了齿轮“畸变”检查内容。

6）在“设备要求”项中，连续式或箱形周期式可控气氛炉有效加热区温度的波动范围由原来的±5℃改为±10℃。这是根据碳氮共渗工艺标准中对加热炉的温度波动要求修订的。

7）把原“工艺规范”项中的共渗温度均作了修订，共渗温度波动范围变小，由原来的±20℃改为±10℃。这是因为目前常用的碳氮共渗热处理实践和常用的加热炉有效加热区温度波动范围大都掌握在±10℃，而且共渗温度波动太大，不利于有效硬化层深和渗层质量的控制。

8）碳氮共渗齿轮的齿面硬度由原标准的56HRC改为57HRC。这是因为碳氮共渗零件表面硬度一般为58～63HRC，一般齿轮的齿面硬度为59～63HRC，传动比大于3的从动齿轮的齿面硬度应降低2HRC，即为57～61HRC。

（2）应用标准时的注意事项

1）本标准适用于钢制齿轮的碳氮共渗。其中，齿轮质量的检验均引用碳氮共渗层深度大于0.3mm的标准。

2）本标准规定了碳氮共渗齿轮的选材、处理设备、工艺及质量控制。

3）有关碳氮共渗工艺和碳氮共渗齿轮质量都有相应的标准。在进行齿轮气体碳氮共渗和齿轮质量检验时，应根据这些文件的内容，择其要点，参照执行。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（JB/T 9173—1999）

齿轮碳氮共渗工艺及质量控制

1 范围

本标准规定了碳氮共渗齿轮的材料选择、处理设备、工艺及质量控制。

本标准适用于钢制齿轮的气体碳氮共渗。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 230—1991 金属洛氏硬度试验方法

GB/T 699—1988 优质碳素结构钢 技术条件

GB/T 3077—1988 合金结构钢 技术条件

GB/T 8539—1987 齿轮材料与热处理质量检验的一般规定

GB/T 9450—1988 钢件渗碳淬火有效硬化层深度的测定和校核

JJG 74—1992 自动平衡式显示仪表检定规程

3 术语

本标准采用下列术语。

3.1　内氧化型黑色组织

在碳氮共渗层表面，由于内氧化和分子氮与氢的作用以及碳氮化合物偏聚所造成的、不经浸蚀即可观察到的黑色组织缺陷。

3.2　屈氏体型黑色组织

由于内氧化和碳氮化合物偏聚引起共渗层淬透性下降所造成的、须经腐蚀方可观察到黑色网状非马氏体组织。

3.3　心部铁素体

指经碳氮共渗并淬火、回火后，在齿宽中部法向截面上，齿轮中心线与齿根圆交点附近的游离铁素体。

3.4　至表面硬度降

在碳氮共渗有效硬化层深度范围内，共渗层横截面上维氏硬度峰值与表面维氏硬度之差。

3.5　至心部硬度降

在碳氮共渗有效硬化层深度范围内，共渗层横截面上自齿表面向心部方向的硬度梯度 ΔHV/ΔEHt。

4　材料选择

4.1　碳氮共渗齿轮常用材料：20CrMo，30CrMo，35CrMo，20CrMnTi，30CrMnTi，38CrSi，20CrMnMo，20CrNiMoA，20Cr2Ni4A 等。

4.2　钢铁质量应符合 GB/T 3077、GB/T 699 规定。精度要求高的齿轮应采用保证淬透性钢，重要齿轮采用高级优质钢和真空脱气钢，可要求加检钢中的非金属夹杂物和带状组织。

4.3　大模数碳氮共渗齿轮，可选用含碳量较高的材料，共渗层深度要求可相应减薄。

4.4　重载齿轮应采用 20CrNiMoA、20Cr2Ni4A 等材料。

5　设备要求

5.1　推荐采用连续式或箱形周期式可控气氛炉进行气体碳氮共渗，其有效加热区内的温度应控制在预定值 ±5℃。

5.2　允许采用井式炉进行滴注式碳氮共渗，其有效加热区内的温度要求控制在预定值 ±10℃。

5.3　炉子结构及气源管路系统必须有良好密封性，以保证共渗质量和在生产过程中周围气氛符合有关环保要求。炉膛应附有炉气循环设施，以保证炉温及气氛的均匀性。

5.4　碳氮共渗炉各加热区均应装备能自动测控和跟踪显示其实际温度的记录装置。所用测温仪表的精度不得低于 0.5 级（JJG 74—1992），并应定期校对。

5.5　炉内气氛控制应采用适当的仪表，以保证碳势和氮势达到规定的精度要求。

5.6　碳氮共渗所有料盘、挂具推荐采用耐热钢或耐热铸铁制造，使用中不允许有明显的变形。

5.7　淬火冷却槽内应配置加热和循环冷却装置。冷却介质的温度在使用过程中应能较快地达到预定值 ±25℃。

5.8　淬火介质不应对齿轮产生氧化、腐蚀等有害的影响，并应符合有关技术条件。一般采用淬火介质为 20 号、30 号机械油、气缸油或其他专用淬火介质；其冷却性能应进行定期检查，并定期消除杂质。

6　工艺控制

6.1　碳氮共渗剂

6.1.1　供碳剂：推荐采用醋酸乙酯、丙酮、甲烷、丙烷、丙丁烷等，也可采用不饱和烃、硫含量低的煤油。

6.1.2　供氮剂：推荐采用氨气，也可采用甲酰胺、尿素、三乙醇胺等供氮碳剂。

6.1.3 渗剂纯度最低应达到工业纯等级。

6.1.4 渗剂不得对齿轮表面及共渗过程产生有害影响，并应符合各自的标准或技术条件。

6.2 处理前的验收和准备

6.2.1 详细了解对热处理的技术要求。

6.2.2 钢料、锻造、预备热处理和机械加工的质量应稳定，并符合技术要求。

6.2.3 制定工艺规范，确定使用设备、装炉方式和装炉。

6.2.4 齿轮表面不得有锈斑、油污、碰伤、裂纹等，并进行编号、登记和装挂。

6.2.5 齿轮的装挂应按其结构选择适当方式，对于中小模数的薄壁齿轮推荐采用挂装方式。

6.3 装炉

随炉放置的试样与齿轮试块的材质和热处理条件应和同炉齿轮一致，且应放置在与齿轮保持相同工艺状态的位置。

6.4 工艺规范

6.4.1 渗层深度小于0.5mm的碳氮共渗齿轮，共渗温度一般为800～840℃，直接淬火，其平均渗速一般可以0.12mm/h左右计算。

6.4.2 渗层深度为0.5～0.8mm时，共渗温度一般为840～880℃，其平均渗速一般可以0.15mm/h左右估算。

精度要求高的齿轮，中温共渗后应在炉内预冷至较低的温度（高于Ar_3），并等温30min以上，然后出炉淬火。

6.4.3 渗层深度要求大于0.8mm时，推荐采用两段工艺规范。第一阶段采用880～920℃较高温度进行共渗或渗碳，然后降温至820～860℃进行中温碳氮共渗，平均渗速可以0.18mm/h左右估算。

6.4.4 共渗时间，应根据渗层深度要求和随炉试样的实测结果来确定。

6.4.5 对于需局部防渗的部位，可采用防渗涂料或其他防渗措施，尽量避免采用镀铜防渗，以防止氢脆。

6.4.6 共渗时间，贯通式炉的炉压推荐控制在40～200Pa，周期式炉的炉压推荐控制在150～500Pa。

6.4.7 吸热式可控气氛碳氮共渗，推荐通氨量为2%～3.5%（占炉气总量）。采用滴注式碳氮共渗时，推荐通氨量为25%～35%（炉气总量按滴液汽化量和通氨量之和估算）。

6.4.8 采用滴注式碳氮共渗时，推荐采用甲醇、乙醇或氮气进行排气，不宜将氨气或其他供氮剂在开始阶段大量通入，作排气使用。

6.4.9 铬锰钛钢齿轮进行碳氮共渗时，为避免产生黑色组织缺陷，供氨量应偏低控制，并应采用后期供氨强渗缩短共渗时间。

7 质量控制与检验方法

7.1 外观：齿轮碳氮共渗后，用肉眼检查表面，不得有氧化皮、碰伤、剥落、锈蚀等缺陷。

7.2 碳氮共渗层表面至深度为0.1mm处的第一表层，平均碳浓度应控制在0.75%～0.95%，平均氮浓度应控制在0.15%～0.30%，用剥层分析方法检验。

7.3 共渗层碳氮化合物应呈颗粒状或小块状均匀分布。不允许聚集呈断续或连续网状分布。在齿顶角部用金相法检查。

7.4 共渗层马氏体应呈隐针状，针长不允许大于0.02mm。用金相法在齿高中部工作面处检查。

7.5 共渗层残留奥氏体量应为15%～30%，不允许高于40%。用金相法在齿高中部工作面处检查。

注：用金相法检查共渗层残留奥氏体数量时，试样应充分回火和进行深腐蚀，必要时可采用显微维氏硬

度法或其他方法鉴别。

7.6　共渗层黑色组织缺陷分为内氧化型和屈氏体型两种，用金相法在齿根附近检查。

7.6.1　内氧化型黑色组织不经腐蚀检查，不允许有黑带，黑点和黑网的深度不得大于0.02mm。

7.6.2　屈氏体型黑色组织经腐蚀后检查，黑网的宽度不得大于0.04mm。

7.7　模数小于3.5mm的碳氮共渗齿轮，心部铁素体量应控制在不大于4%；模数为3.5～5mm的碳氮共渗齿轮，心部铁素体量应控制在不大于8%。用金相法在齿轮的中心线与齿根圆的交点附近进行检查。

7.8　碳氮共渗有效硬化层深度要求，按照产品图样规定。

7.8.1　碳氮共渗有效硬化层深度宜偏低控制，一般应允许比渗碳有效硬化层深度减薄10%～20%。

7.8.2　碳氮共渗有效硬化层深度用维氏硬度法按照GB/T 9450在齿高中部检测。

7.9　硬度要求按产品图样规定。

7.9.1　共渗齿轮的齿面硬度一般应不低于56HRC，允许在齿顶或端面检查。约相隔120°的三个齿轮上检测三处，同一齿轮上三处的硬度差应不大于3HRC。测定方法按GB/T 230规定。

7.9.2　共渗齿轮的心部硬度一般应不低于30HRC，用洛氏硬度法在轮齿的中心线与齿根圆的交点附近检查。

7.9.3　至表面硬度降和至心部硬度降不可过陡，用维氏硬度法按GB/T 8539进行检查。

注：由于碳氮共渗表面层残留奥氏体较多而引起的至表面硬度降，允许超过50HV。

7.10　热处理变形应稳定，并应和冷加工互相配合达到规定的精度要求。

第四节　齿轮渗氮、氮碳共渗工艺及质量控制

一、概论

齿轮经渗氮或氮碳共渗工艺处理后，具有较高的承载能力，耐蚀性、抗咬合性能优良。由于齿轮渗氮、氮碳共渗工艺处理温度低，齿轮畸变小，易达到齿轮精度要求。因而该工艺应用范围日益广泛。

编制本标准，就是为了更好地对齿轮渗氮、氮碳共渗工艺及质量进行控制。该标准制定时，参考了国际标准、国外先进工业国家标准、国内有关工艺标准及我国生产企业的工艺资料。

二、标准应用说明

1. 齿轮材料

珠光体型、奥氏体型和碳化物类型的钢材和灰铸铁、球墨铸铁均能进行渗氮和氮碳共渗。但由于齿轮要求热处理变形小，要求高的耐磨性和抗咬合能力，要求较高的接触疲劳、弯曲疲劳强度等，故本标准推荐了40Cr、25Cr2MoV等几种常用材料，并将齿轮不同疲劳极限选用材料列于附录中。

在生产中发现，渗氮钢38CrMoAl作为渗氮齿轮用钢并不理想。因该钢材只有在直径小于50mm时才能完全淬透，钢中含有较多的铝会造成柱状断口，非金属夹杂物多，在轧材中产生细微裂纹和发裂，在锻件中针状小气孔增多。在热加工时，容易过热引起脆性断裂，强度下降。在热处理时易脱碳，并且对化学成分波动十分敏感，往往造成淬硬性和淬透性不够，水淬时易产生裂纹，渗氮中易产生脆性相等缺点。因此，38CrMoAl不适用于制造较大直径的齿轮。但该钢渗氮速度快、表面

硬度较高，耐磨性及抗咬合性能好，各生产企业仍可根据工况条件适当选用。

北京机床研究所等单位曾在38CrMoAl的基础上研制了30CrMoAl。经工艺试验、性能试验、台架试验，30CrMoAl均较38CrMoAl及40Cr理想。因该钢材未列入国标，故本标准中不作为推荐钢种，但若用户与生产企业协商一致，该钢材是可以采用的。

在重载齿轮方面，洛阳矿山机器厂研制了NT100、NT150沉淀硬化钢。其心部硬度较高，渗氮性能尚可。但该钢种尚处于试验阶段，未列入国际，故本标准也未做推荐。在有必要采用时，由生产企业与用户协商决定。

45钢渗氮效果不好，但氮碳共渗后具有一定的综合性能，且成本低，供应渠道广。因此，对于一般用途的齿轮，用该钢是经济、合理的。

2. 关于渗氮、氮碳共渗温度

渗氮、氮碳共渗温度一般在470～600℃之间，应该根据齿轮的材料、技术条件要求的渗层深度和硬度适当选定。工程中，渗氮温度采用500～540℃。过低的温度，渗速慢，时间长；而过高的温度，表面易形成脆性相，齿轮变形增大。因此，当要求硬度高、渗层浅时，采用较低温度；而要求硬度低、渗层深时，采用较高的温度；在要求硬度高、渗层深时，采用二段或三段方法处理，这种方法除渗速快外，还使表面的脆性相减薄。氮碳共渗温度一般采用570～600℃。由于氮、碳同时渗入，化合物层较厚，且无脆性。许多试验表明，气体、液体、离子氮碳共渗均以（570±10）℃最为理想。

3. 关于齿轮渗氮、氮碳共渗时间

影响齿轮渗氮及氮碳共渗时间的因素较多，如所用的钢材、要求的硬化层深度、处理的温度、炉压、介质浓度等，故不宜对处理时间做硬性规定。通常认为，渗氮最大缺点是周期长，生产率低。气体渗氮时，要达到0.5mm渗氮层，渗氮速率约为10μm/h；若渗氮层深度达0.7～0.8mm，渗速约为7μm/h，保温时间长达100～120h。在生产中，很多企业也采取一些措施，如加氧渗氮，即氧氮共渗；在渗氮罐中添加氯化铵或用电解气催渗；提高处理温度，进行二段或三段渗氮等。离子渗氮速度比气体渗速快近1/3，液体渗氮时，速度又更快些，基于以上情况，本标准中做了一般推荐，由各生产企业根据具体情况而定。

4. 关于齿轮液体氮碳共渗

我国现在生产中齿轮液体渗氮用得较少，原因是三废处理问题。近年来，在盐的成分比例等方面做了不少工作，许多零件采用液体氮碳共渗处理，即过去称为盐浴软氮化。这种工艺的特点是渗速快、处理时间短、渗层均匀。对于要求渗层在0.3mm以下的齿轮，有不少单位采用液体氮碳共渗，特别是引进产品中，许多齿轮要求液体氮碳共渗。因此，本标准中作了有关规定。在运用这个工艺时，废盐废渣的处理及排放水中“CN”含量应达到环保规定中对人体无害的指标。

5. 关于齿轮渗氮、氮碳共渗硬化层深度定义及其测量问题

AGMA 240.01（1972年）《齿轮材料规范》中规定渗氮层深度是自表面测到与心部硬度刚好相等的部位，而在新修订的标准AGMA 2004B—1989，已改为自表面到相当于心部硬度110%处的深度。此层深度用显微硬度计测定，测定位置在齿宽中部法截面上半齿高处。

JIS B 6915《钢的气体渗氮处理》规定硬化层深度是指全硬化层深度，并规定按JIS G 0557《钢的渗碳硬化层深度的测定方法》测定。在该标准的解说中谈到，在操作时，由于有时对硬化层与基体在物理、化学性质方面难以区别而测定深度感到困难时，往往也采用“比在大致硬化层深度的2倍处测定的基体硬度高30～50HV的点作为决定全硬化层深度的硬度”，以此作为全硬化层深度的确定标准。

DIN 50190第三部分《渗氮后硬化层有效深度的测定》规定，自表面测至界限硬度处的深度，

界限硬度 =（实测中心硬度 +50）HV。

JB/T 2849《钢铁渗氮金相检验》中规定渗氮层深度是用金相法从表面测到与基体组织有明显分界处为止，用显微硬度法从试样表面垂直测至比基体显微硬度值高 30 ~ 50HV 处为止。GB/T 11354《钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验》对此做了修改，以硬度法为主，金相法为辅，测试负荷由原来 0.98N（0.1kgf）改为 2.94N（0.3kgf）。该标准的验证工作表明，用显微硬度法测定渗氮层深度和金相法测量渗氮层深度，二者之间有一对应关系，也就是硬度法测定的基体硬度值加 30 ~ 50HV 处至表面的距离，近似等于用金相法从表面测至与心部组织有明显交界处的垂直距离，两者比较吻合。经验证明，钢材合金成分不同，所使用的腐蚀剂不同，有时渗层深度难以用金相法准确测定。

本标准为向国际标准靠拢，与有关标准相一致，渗氮、氮碳共渗渗层深度均定义为自表面测至界限硬度处的距离，界限硬度 =（实测中心硬度 +50）HV，测试负荷规定为 4.9N（0.5kgf）。根据我国国情，金相法作为过渡措施仍可用，但应逐步采用硬度法检验产品质量。

6. 关于齿面硬度的定义与检测

齿轮在啮合过程中，齿面是受力部位，因此，齿面硬度是反映齿轮承载能力的重要参数。在一些标准中，齿面硬度定义为轮齿齿高中间部位的工作齿面的硬度。

要真实反映齿面的硬度，应该注意测试部位及所选取的负荷。目前尚无理想的硬度计用来测定各种模数的渗氮齿轮的齿面硬度。对于模数小的齿轮，可用表面洛氏硬度计 HR15N 或维氏硬度计（负荷 4.9N，即 0.5kgf）测定端面或齿顶圆的硬度，此时被测面的表面粗糙度 *Ra* 应小于 0.8μm。另外，在测定齿顶面硬度时，支承不当也是影响测试数据准确性的重要因素，因此，操作时应注意支承方法。

对于解剖的齿轮或随炉齿形试块，除在端面或齿顶面测试外，最好在轮齿齿宽中部法截面上，在半齿高处，沿垂直于齿面方面测定距表面 0.05mm 处的硬度作为表面硬度。

对于随炉试样，其化学成分，原始组织及预备热处理应与齿轮相同，渗氮前应将被测面磨光，表面粗糙度 *Ra* 应小于 0.8μm。

测试负荷的选择对渗氮齿轮尤为重要。若负荷选择不当，则不能反映出真正的表面硬度。若负荷选择过大，则将渗层打穿；若负荷选择过小，由于测量误差或测到其个不均匀组织，误差会更大。从国外某公司提供的关于渗氮件表面硬度、渗层深度、测试负荷三者间的关系表可见，表面硬度低，渗层浅，则采用小负荷；反之时用较大负荷。若渗层深度大于 0.6mm，测试负荷达 294 ~ 490N（30 ~ 50kgf），这在我国是很少采用的。

考虑到硬齿面齿轮的表面硬度均在 500HV 以上，因此，本标准规定，有效硬化层深度小于 0.15mm 时，测试负荷采用 9.8N（1kgf）；当深度为 0.15 ~ 0.30mm 时，负荷采用 49.03N（5kgf）；当深度大于 0.3mm 时，则用 98.06N（10kgf）或用 HR15N。之所以这样规定，是为了尽量减少测量误差，在可能的条件下尽量选用较大的载荷。

表面最低硬度、最大渗氮层深度（NHt）、试验方法及最高允许测试力见表 6.4-1。测量表面硬度时应注意垂直于表面，试验负荷应同渗层深度及硬度相称。因此，设计者、检测者及热处理技术人员应注意给出相应测试力。

7. 应用本标准的注意事项

（1）本标准中所推荐的工艺仅为常见工艺，因此，对于有特殊要求的齿轮，须加工单位与用户协商确定技术条件后制订工艺。

（2）齿轮渗氮或氮碳共渗质量与选用的材料、设备、工艺、渗剂、夹具及防渗方法等因素有关，因此，每个环节均应重视，并应参照现行的各相关标准。（郑州机械研究所李耀珍供稿）

表 6. 4-1 表面最低硬度、最大渗氮层深度（NHt）、试验方法及最高允许测试力

NHt /mm	正偏差 /mm	表面最低硬度 HV						
		200～300	>300～400	>400～500	>500～600	>600～700	>700～800	>800
		试验方法及最高允许测试力						
0. 1	0. 05	HV0. 5	HV1	HV1	HV1	HV1	HV1	HV3
0. 15	0. 05	HV1	HV1	HV3	HV3	HV3	HV3	HV5
0. 2	0. 1	HV1	HV3	HV5	HV5	HV5	HV5	HV5
0. 25	0. 1	HV3	HV5	HV5	HV5	HV10	HV10	HV10
0. 3	0. 1	HV3	HV5	HV10	HV10	HV10	HV10	HV10
0. 4	0. 2	HV5	HV10	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30
0. 45	0. 2	HV5	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30
0. 5	0. 25	HV10	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30	HV30
0. 55	0. 25	HV10	HV10	HV30	HV30	HV30	HV30	HV30
0. 6	0. 3	HV10	HV10	HV30	HV30	HV50	HV50	HV50
0. 65	0. 3	HV10	HV30	HV30	HV50	HV50	HV50	HV50
0. 7	0. 3	HV10	HV30	HV50	HV50	HV50	HV50	HV50
0. 75	0. 3	HV30	HV30	HV50	HV50	HV50	HV50	HV100

注：在试验方法上，可用较低测试力代替最高允许测试力。

三、标准内容（JB/T 9172—1999）

齿轮渗氮、氮碳共渗工艺及质量控制

1 范围

本标准规定了齿轮渗氮（气体、离子）及氮碳共渗（气体、离子、液体）的有关术语、材料选择、处理设备、工艺及质量控制。

本标准适用于合金结构钢和球墨铸铁制齿轮的渗氮、氮碳共渗以及 45 碳素结构钢氮碳共渗。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 699—1988 优质碳素结构钢 技术条件

GB/T 1818—1994 金属表面洛氏硬度试验方法

GB/T 1348—1988 球墨铸铁件

GB/T 3077—1988 合金结构钢 技术条件

GB/T 3480—1997 渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法

GB/T 4340—1984 金属维氏硬度试验方法

GB/T 5030—1985 金属小负荷维氏硬度试验方法

GB/T 9451—1988 钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度测定

GB/T 11354—1989 钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验

GB/T 13299—1991 钢的显微组织评定法

YB/T 5148—1993 金属平均晶粒度测定方法

JJG 74—1992　自动平衡式显示仪表检定规程

3　术语

本标准采用下列术语。

3.1　齿面硬度

成品齿轮轮齿工作高度中间部位的齿面硬度。

3.2　渗层深度

齿轮或试样经渗氮、氮碳共渗后，从硬化层表面垂直测至规定的硬度或显微组织处的距离。

3.3　界限硬度值

为确定渗氮、氮碳共渗后齿轮的有效硬化层深度而规定的最低硬度值。

界限硬度值 =（实际中心硬度 +50），HV。

3.4　有效硬化层深度

a）齿轮渗氮、氮碳共渗后，于齿宽中部轮齿法截面上，在齿高中部沿垂直于齿面方向，自表面测至界限硬度值处的深度。

b）试样渗氮、氮碳共渗后，于垂直渗氮表面的横截面上，自表面测至界限硬度值处的深度。

4　齿轮材料选择

4.1　冶金质量

4.1.1　化学成分、低倍和高倍组织、非金属夹杂物，应符合 GB/T 3077、GB/T 699 的规定。

4.1.2　晶粒度应采用本质细晶粒钢，按 YB/T 5148 评定；当设计疲劳极限值位于 GB/T 3480 疲劳极限区域图的上限时，晶粒度级别必须 7 级以上。

4.1.3　对有特殊要求的齿轮，按用户与制造厂双方协议执行。

4.2　锻坯质量与力学性能

4.2.1　锻造比：对承载能力高的齿轮，用钢锭锻成齿坯，锻造比应大于或等于 5；用轧材锻成齿坯，锻造比大于或等于 1.5，带状组织等于或小于 2 级（GB/T 13299）。对形成白点敏感的材料及大截面的齿轮进行扩散处理，其它齿轮及齿轮轴按各行业规定执行。

4.2.2　齿坯流线应在齿坯纵剖面上沿外廓形状分布。

4.2.3　力学性能指标不得低于 GB/T 3077、GB/T 699、GB/T 1348 的规定值。

4.2.4　齿坯不得过热、过烧，其晶粒度级别不得低于原材料晶粒度级别。

4.3　渗氮、氮碳共渗齿轮材料

作为渗氮齿轮用钢应含有 Cr、V、Mo、Al 等在渗氮温度下能形成稳定氮化物的元素，推荐材料如下：

a）渗氮材料：40Cr、35CrMo、42CrMo、25Cr2MoV、18Cr2Ni4WA、38CrMoAlA 及相近成分的钢材，珠光体球墨铸铁。

b）氮碳共渗材料：45、40Cr、35CrMo、42CrMo、25Cr2MoV 等。

注：当齿轮设计的接触疲劳极限与弯曲疲劳极限位于 GB/T 3480 疲劳极限区域图的不同位置时，参见附录 A（提示的附录）选择材料。

5　设备要求

5.1　气体渗氮、氮碳共渗设备

a）齿轮在有效加热区内加热时，其设备应能保证处理温度控制在预定温度 ±10℃之内；

b）渗氮、氮碳共渗炉氨的分解率应能根据工艺要求作适当的调整；

c）渗氮、氮碳共渗炉应能根据工艺要求良好密封；气体应均匀接触齿轮表面，最好有流通装置；

d）测试仪表的精度为 0.5 级（JJG 74）；

e）氮碳共渗设备应具有充分燃烧、排出废气的装置，环境中 CN^- 含量应控制在 0.3mg/m³ 以下；

f）渗氮罐应定期进行退氮处理。

5.2　离子渗氮、氮碳共渗设备

a）设备应设置电压、电流、温度、真空度和气体流量的测量指示仪表，温度应能自动控制和记录；

b）极限真空度应不低于 6.7Pa（5×10^{-2}Torr），压升率不大于 1.3×10^{-1}Pa/min（1×10^{-3}Torr/min）；

c）设备应具有可靠的灭弧装置。

5.3　液体氮碳共渗设备

a）应有良好的吸风防护罩等安全防护装置；

b）应有中和消除有毒废液处理装置，排放须符合环境保护条例。

6　工艺控制

6.1　渗剂

6.1.1　常用种类

a）渗氮：氨、热分解氨、氮氢混合气、氨加氧；

b）氮碳共渗：氨加甲醇、氨加二氧化碳、氨加吸热性气氛、微毒盐类等。

6.1.2　要求

渗剂不得对齿轮产生有害影响，应符合标准渗剂技术条件。

6.2　齿轮渗氮、氮碳共渗预处理要求

6.2.1　基体处理

6.2.1.1　合金结构钢采用调质。调质回火温度一般比渗氮温度高 20℃以上，调质加工表面不允许有脱碳，调质硬度应符合技术条件。

6.2.1.2　碳素钢氮碳共渗齿轮在冲击性能要求不高时可采用正火处理，正火后硬度应符合技术条件要求。

6.2.2　去应力退火

对变形要求小的齿轮，在渗氮前应进行一次或数次去应力退火，其最高温度应低于调质回火温度，高于渗氮、氮碳共渗温度。

6.2.3　表面清理

齿轮渗氮、氮碳共渗前必须除去锐边、清洗干净，不得有油污、氧化皮等其他有害的杂物。

6.2.4　局部防渗

对不需渗氮、氮碳共渗部位，用镀层、防渗涂料或机械屏蔽法防渗。

6.2.5　待处理齿轮表面粗糙度 Ra 应小于 3.2μm。

6.2.6　夹具

6.2.6.1　气体渗氮及氮碳共渗夹具应设计合理、吊挂牢固。经一定时间使用后要进行退氮处理。

6.2.6.2　离子渗氮及氮碳共渗夹具与齿轮之间的间隙应适当，以免打弧。

6.3　齿轮渗氮、氮碳共渗工艺规程

6.3.1　随炉试样

a）随炉试样的材料成分、预先热处理、金相组织、力学性能应与齿轮相一致。高可靠度齿轮最好在齿轮上取样；

b）试样尺寸（圆棒直径或方形试样厚度）应近似于分度圆齿厚；

c）随炉试样被检表面粗糙度 Ra 应小于 0.8μm，表面不得有脱碳层、氧化皮、锈斑和油污；

d）试样应放置在能代表该炉齿轮渗层质量的位置上。

6.3.2　装炉

齿轮的装炉量、位置及方向要恰当，使炉内介质流畅和每个轮齿加热均匀，以减少变形。

6.4　齿轮渗氮、氮碳共渗工艺

6.4.1　温度及参数

根据齿轮材料、形状、模数及技术要求选取表 1 中的温度及参数。

表　1

<table>
<tr><td rowspan="3">工艺类型</td><td colspan="8">气体渗氮</td><td colspan="4">离子渗氮</td><td>氮碳共渗</td></tr>
<tr><td colspan="4">温度/℃</td><td colspan="4">氨分解率（%）</td><td colspan="3">温度/℃</td><td rowspan="2">气压/Pa
（Torr）</td><td rowspan="2">温度/℃</td></tr>
<tr><td>均温</td><td>第一段</td><td>第二段</td><td>第三段</td><td>强渗期</td><td>扩散期</td><td colspan="2">退氮期</td><td>第一段</td><td>第二段</td><td>第三段</td></tr>
<tr><td>一段法</td><td rowspan="3">430～450</td><td>450～530</td><td>—</td><td rowspan="2">—</td><td>15～35</td><td>40～60</td><td colspan="2" rowspan="2">>90</td><td>450～530</td><td>—</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="3">66.7～1066
（0.5～8）</td><td>560～580</td></tr>
<tr><td>二段法</td><td>480～530</td><td rowspan="2">540～570</td><td rowspan="2">18～30</td><td rowspan="2">50～70</td><td>480～530</td><td rowspan="2">540～570</td><td rowspan="2">—</td></tr>
<tr><td>三段法</td><td>480～500</td><td>500～530</td><td>调整
30～40</td><td>退氮
>95</td><td>480～500</td><td>500～530</td></tr>
</table>

6.4.2　处理时间

按齿轮材料、渗层深度要求选择的工艺类别等综合确定。一般按每小时 0.01mm 的平均渗速估算时间。

6.4.3　冷却方式

a）气体渗氮、离子渗氮、离子氮碳共渗后在炉内冷至 200℃以下后空冷；

b）气体氮碳共渗后也可采用油冷；

c）液体氮碳共渗后一般采用水冷；

d）为减少变形，对高精度不磨齿的齿轮可采用分段冷却。

6.4.4　清洗

液体氮碳共渗后要及时清洗、中和附在齿轮上的残盐、残渣。

7　齿轮渗氮、氮碳共渗质量控制与检验方法

7.1　随炉试样检验

7.1.1　表面硬度

表面硬度检验按 GB/T 5030、GB/T 4340、GB/T 1818 测量；对渗氮后要磨削的齿轮，应将试样表面磨去加工余量后测量，硬度应符合技术条件规定，推荐测试负荷见表 2。

表　2

有效硬化层深度/mm	≤0.15	>0.15～0.3	>0.3
维氏硬度（HV）测试负荷/N	9.806	49.03	98.06，也可用（HR15N）

7.1.2　渗层深度

渗层深度检验以硬度法为主，金相法为辅，检验结果应符合产品技术要求。

7.1.2.1 硬度法

测定有效硬化层深度，选用4.9N负荷，从试样表面垂直测至界限硬度处的距离。

测试负荷只能在1.96～19.6N范围内选取。

渗层深度在0.3mm以下时，按GB/T 9451进行测定。

7.1.2.2 金相法

用金相显微镜按GB/T 11354规定，从试样表面垂直测至与基体组织有明显分界处的距离。当基体组织界线不明显、无法正确判断时，应以硬度法为准。

7.1.3 心部硬度

随炉试样磨制后，在大于渗层两倍处测定3点硬度，取其平均值作为心部硬度。测定方法按GB/T 4340或GB/T 230规定，测量结果应达到技术要求。

7.1.4 脆性

按GB/T 11354有关规定检验压痕周边碎裂程度，每件测3点，至少有两点处于相同级别，1～3级为合格。对留有磨量的齿轮，可磨去加工余量后测量，测量结果应符合技术条件。对要求高的齿轮，经双方协商可对试样采用声发射法检验。

7.1.5 渗层疏松

渗层表面化合物层疏松按GB/T 11354评定，1～3级为合格。

7.1.6 渗层中氮化物形态

渗层扩散层中氮化物形态按GB/T 11354评定，1～3级为合格。

7.1.7 渗氮、氮碳共渗化合物层厚度与硬度

化合物层厚度与硬度应符合产品图样技术条件，厚度用金相显微镜测定；硬度使用显微硬度计测定，负荷采用0.49～0.98N。

7.1.8 其他

根据用户要求或产品需要，可测量表面相结构的组成或残余应力。

7.2 齿轮渗氮、氮碳共渗质量检验

7.2.1 外观

齿轮渗氮、氮碳共渗后用肉眼检查表面，不得有氧化皮、碰伤、剥落、电弧烧伤、残盐存留等缺陷。

7.2.2 齿面硬度

a）抽检批量生产的齿轮，当随炉试样合格时，每批抽检1件，约在相隔120°的三个轮齿上，在齿高中部各测1～3点，也可用维氏硬度计或表面洛氏硬度计（HR15N）测量端面或齿顶硬度；

b）当随炉试样检查不合格时，应取同炉的齿轮3件，每件测3个轮齿，每个轮齿测1～3点；

c）对无法用硬度计检查的齿轮，一般以随炉试样的测量值为准；

d）硬度不符合技术条件要求时，应根据具体情况进行返修处理或判废。

7.2.3 渗层深度与轮齿中心硬度

a）批量生产的齿轮，在随炉试样检验合格情况下应定期抽检。若随炉试样不合格，则该批至少抽检1件齿轮。检验方法同7.1.2、7.1.3；

b）单件重要的齿轮，一般以随炉试样测量为准。经协商可将一个轮齿的末端沿一个角度磨制抛光并腐蚀，用带有刻度的放大镜测量渗层深度。用肖氏硬度计检测轮齿中心的硬度，测量结果应达到产品图样和技术文件的规定值；

c）渗氮、氮碳共渗层深度的均匀度为技术条件要求中值的±15%。

7.2.4 抽检

抽检齿轮的渗氮、氮碳共渗层脆性、渗层疏松、氮化物形态。检查同 7.1.4、7.1.5、7.1.6。

7.2.5　变形

对精度要求高的齿轮，抽查 1 ~ 3 件，用相应量具检查齿轮几何精度，其结果应符合技术条件要求。

7.2.6　局部防渗

用肉眼观察局部防渗部位，一般应基本保持原金属色，若发现有渗氮色，可用硬度计或高硬度锉刀进行检查，以不影响切削加工为准。

附　录　A

（提示的附录）

渗氮、氮碳共渗齿轮常用材料选择

表 A1　渗氮、氮碳共渗齿轮常用材料选择

齿轮疲劳极限/（N/mm^2）		常用材料	渗氮、氮碳共渗后表面最低硬度值 HV1
接触疲劳 σ_{Hin}	弯曲疲劳 σ_{Flim}		
≤650	≤250	45	300
		球光体球墨铸铁	400
650 ~ 800	250 ~ 280	40Cr	500
800 ~ 950	250 ~ 300	38CrMoAlA	850
850 ~ 1000	300 ~ 350	35CrMo 42CrMo	550
1000 ~ 1250	350 ~ 420	25Cr2MoV 18Cr2Ni4WA	650

注：1. 疲劳极限适用于渗氮层深度 0.3mm 以上。
2. 各材料心部抗拉强度应大于 900N/mm^2。
3. 表中推荐数据适用于常温条件。
4. 特殊使用的齿轮经用户和制造厂协商选取其他材料。

第五节　齿轮火焰及感应淬火工艺及其质量控制

一、概论

齿轮的表面硬化处理，在工艺方法上可分为两大类。一类是表面化学热处理，另一类是表面热处理，如火焰淬火、感应淬火、激光淬火等。经正确表面处理的齿轮，齿面具有较高的耐磨性和接触疲劳强度，同时也具有一定的弯曲疲劳强度。这种工艺的特点是加热速度快、效率高。在低速重载、机车、机床、冶金机械等行业广泛采用。

本标准是对 ZB/T J17 004—1990《齿轮火焰及感应淬火工艺及其质量控制》的修订。

编制本标准，就是为了更好地对齿轮火焰及感应淬火工艺及其质量进行控制。该标准制订时，参考了国外标准 ISO/TC60/WG6N268（现为 ISO 6336.5）、AGMA 240.01、AGMA 2001—B88、JIS B 6912 等，我国标准 JB/T 9200、JB/T 9201、GB/T 8539 等，以及我国某些生产企业的有关技术文件。

二、标准应用说明

1. 齿轮材料

作为火焰或感应淬火的齿轮材料，一般用调质钢，也有用渗碳后再进行表面处理的合金结构钢。经验证明，w（C）在0.55%以下的钢较为合适。碳含量越高，产生裂纹倾向越大。我国机床齿轮大多采用感应淬火工艺，使用材料为45钢、40Cr钢。重机行业各生产企业有自己的用材系列，采用铸钢、锻钢及铸铁等，品种较多。本标准征求意见时，不少单位提出材料范围应更广泛、品种多些。我们考虑到国外用钢较为集中，已规范化、标准化，为了有利于我国火焰或感应淬火齿轮材料标准化，本标准推荐了常用材料，希望按不同承载能力，分档选用材料，以逐步形成我国表面淬火齿轮材料系列。

2. 表面硬度及测量部位

目前我国生产中，火焰或感应淬火后的齿轮硬度检测有以下几种情况。

（1）测定齿顶硬度。对于较小尺寸的齿轮，一般在洛氏硬度计上测定，值得提出的是应按GB/T 230规定的表面粗糙度，否则误差较大。

（2）测定齿面硬度。对于大模数齿轮，用肖氏硬度计测定，也有的企业用便携式硬度计测定。

（3）测定端面硬度。在采用旋转一次淬火法时，由于小齿轮齿顶较窄无法测定，则测定端面硬度（采用的单位较少）。

（4）用锉刀或划针检验齿顶或齿面硬度。这是当无法用硬度计测定时采用的方法。

（5）不检验。我们在调查中了解到，许多齿轮产品火焰或感应淬火后不检查硬度。有的企业认为，经验和工艺可保证达到硬度；有的企业是由于没有任何测试手段。

据出国人员介绍，国外也有测齿顶的，也有测齿面的。

本标准课题组，在分析火焰及感应淬火的特点后认为，齿顶与齿面硬度差异较大，特别是沿齿面淬火及沿齿槽淬火时，齿顶部位几乎无硬化层，所以应以齿面硬度为准。当测定其他部位硬度时，应找出该部位硬度与齿面硬度的关系，以确保达到图样标注的硬度值。

3. 硬化层深度及其测量

我国现生产中很少测量硬化层深度，绝大多数图样上不标注硬化层深度。检验硬化层深度时，多用腐蚀法，即在金相显微镜下，从表面测至50%马氏体处或测至显著索氏体处。参考国外有关标准，并与GB/T 5617相一致，本标准规定检验有效淬硬层深度。测量部位是于齿宽中部轮齿法截面上，在半齿高处垂直于齿面方向，自表面测至界限硬度值（HV_{HL}）处的深度，界限硬度值$HV_{HL}=0.8\times HV_{MS}$。$HV_{MS}$为设计最低表面硬度，即图样上标注的硬度下限值，而不是实测硬度的最低值。

4. 淬硬层分布及测定

在我国齿轮产品图样及技术文件中，过去从未规定齿轮经火焰及感应淬火后的淬硬层分布形状。淬硬层的形状，根据齿轮的模数、感应电源频率、电气参数和感应器结构的不同而异，一般有图6.5-1所示的几种形式。

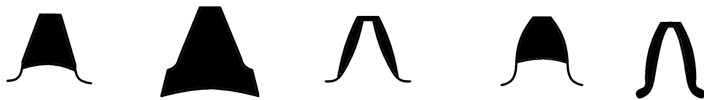


图6.5-1 淬硬层形状

根据实际解剖，我国齿轮硬化层分布并不完全像图中的标准形式，有的在节圆附近就没有硬化

层了，有的有腐蚀色，但硬度并不高。法国 F. J 奥佛科脱认为，为了要提高齿轮的强度和耐磨性，硬化层深度分布最好是在齿根圆以下 2mm 处仍保持 50HRC，或者淬硬到节圆和根圆之间，最坏的是淬硬到齿根圆处。德国有的企业规定，凡出现硬化层恰好结束于齿根圆处，即按报废处理。日本山崎铁工所规定齿根硬化层深度为 1 ~ 1. 5mm。硬化层分布形式如何为好，不能一概而论，要根据工况、承载能力而定，以避免齿根产生疲劳而断裂或造成工艺复杂，成本增加。

德国某公司规定不同模数齿轮的硬化层分布形式不同，其齿根圆以下的硬化层深度按表 6. 5-1 所示数值执行，检验方法是在轮齿法截面上垂直于齿槽底面测定硬度。

表 6. 5-1　模数与齿根圆下淬硬层深度　（单位：mm）

模数	1. 5	2	2. 5	3	4	5	6	8
深度	2	2	2	2. 5	3	4	5	6

我国各行业很少检验淬硬层的分布形式，近来机床行业对此做了规定。本标准根据收集到的有关经验数据及参考国外标准曾在“征求意见稿”中作了推荐，但不少企业反馈意见认为，不必做硬性规定。本课题组考虑到本标准牵涉面广，可暂不做统一规定。

5. 模数与淬硬层深度的关系

有人提出，应对淬硬层深度与模数的关系列出质量控制表，以及对淬硬层分布形式做出规定，以供设计人员参考。课题组制定标准的指导思想是以工艺及质量检验，达到设计者提出的技术要求。淬硬层深度及其分布形式，应是设计者根据工况提出的指标。本标准涉及行业面较广，模数从小到大，使用中受力状况差别很大，不便给出统一数据。

6. 有关高频电磁辐射限值

本标准提出这一规定的目的是，一方面要求高频设备生产企业应按标准供货，另一方面要求对现有设备加以屏蔽防护，以保护环境，保障公众的健康，特别是操作者的身心健康。为提出这一限值，课题组曾进行调研，有关这方面的限值规定都不一致。有的标准规定频率在 0. 1 ~ 3MHz 时，电场强度为 20V/m，磁场强度为 5A/m；而在电磁辐射防护规定中仅注明对照参考，不作为限值，提出电场强度 87V/m，磁场强度 0. 25A/m。

7. 应用本标准的注意事项

（1）火焰或感应加热的工艺应视淬火机床结构、喷嘴或感应器结构而定，并应进行齿块试验，齿块检验合格后才能生产。

（2）为了贯彻本标准，应执行我国颁布的相关工艺标准及检测标准。

（3）对于预切齿后调质或淬火后需精加工的齿轮，应与冷加工配合，要留有加工余量，以免因畸变而造成不必要的浪费。

（4）本标准主要从齿轮的接触强度和抗弯强度考虑提出检验项目，若与其他标准相冲突，可由制造企业与用户协商解决。

（5）齿轮火焰或感应淬火时，其加热温度是至关重要的。因此，应注意测试仪器、测试方法的准确性，可靠性。（郑州机械研究所李耀珍供稿）

三、标准内容（JB/T 9171—1999）

齿轮火焰及感应淬火工艺及其质量控制

1　范围

本标准规定了齿轮火焰及感应淬火（高频、超音频、中频）的有关术语、材料选择、使用设

备、工艺及质量检验。

本标准适用于中碳碳素结构钢和合金结构钢以及低淬透性钢等材料制造的齿轮火焰及感应淬火的工艺及其质量控制。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 230—1991 金属洛氏硬度试验方法
GB/T 699—1988 优质碳素结构钢 技术条件
GB/T 3077—1988 合金结构钢 技术条件
GB/T 4340—1984 金属维氏硬度试验方法
GB/T 4341—1984 金属肖氏硬度试验方法
GB/T 5617—1995 钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定
GB/T 8539—1987 齿轮材料及热处理质量检验的一般规定
GB/T 9175—1985 环境电磁波卫生标准
JB/T 4393—1987 聚乙烯醇合成淬火剂技术条件
JB/T 9200—1999 钢铁件的火焰淬火回火处理
JB/T 9201—1999 钢铁件的感应淬火回火处理
JB/T 9204—1999 钢铁件感应淬火金相检验
YB/T 2009—1981 低淬透性含钛优质碳素结构钢
YB/T 5148—1993 金属平均晶粒度测定方法

3 术语

本标准采用下列定义。

3.1 齿面硬度

成品齿轮轮齿工作高度中间部位的齿面硬度。

3.2 齿槽底面硬度

成品齿轮齿宽中部齿槽底面部位的表面硬度。

3.3 有效淬硬层深度

齿轮经火焰或感应淬火，并经回火后，于齿宽中部轮齿法截面上，在齿高中部沿垂直于齿面方向（全齿硬化除外），自表面测至极限硬度值处的深度。极限硬度值：

$$HV = 0.8HV_{MS} \tag{1}$$

式中 HV——极限硬度；

HV_{MS}——设计要求的最低表面硬度。

3.4 淬硬层分布

齿轮经火焰或感应淬火后，于齿宽中部轮齿法截面上，轮齿与其齿槽底面所呈现出的淬硬层分布形式。

4 齿轮材料

4.1 冶金质量

4.1.1 化学成分、低倍和高倍组织、非金属夹杂物应符合 GB/T 3077、GB/T 699、YB/T 2009 的规定。

4.1.2 合金结构钢应采用细晶粒钢，按 GB/T 6394 评定，晶粒度应为 5 ~ 8 级。

4.1.3 对大模数及重要齿轮，其毛坯应切除钢锭头尾部，以免除缩孔及不允许的偏析。

4.1.4　力学性能指标不得低于 GB/T 3077、GB/T 699 及 YB/T 2009 的规定值。

4.1.5　对有特殊要求的齿轮，按用户与制造厂双方协议规定执行。

4.2　锻坯质量与力学性能

4.2.1　对承载能力高的齿轮，用钢锭锻成齿坯，锻造比应符合 GB/T 8539 规定。

4.2.2　齿坯流线应尽量沿轮齿齿廓分布。

4.2.3　齿坯不得过热、过烧，其晶粒度不得低于原材料晶粒度。

4.2.4　齿坯力学性能试样的取样部位、数量、性能指标按各行业标准规定。

4.3　火焰及感应淬火齿轮常用材料

碳素结构钢：45，55，ZG310-570，ZG340-640。

合金结构钢：40Cr，35CrMo，42CrMo，42MnMoV，37SiMnMoV，40CrNiMo，32CrMnMo，ZG35CrMo，ZG35CrMnSi，ZG40Mn。

低淬透性钢：55Ti，60Ti，70Ti。

渗碳、碳氮共渗后再进行感应淬火的齿轮材料：20，20Cr，20CrMnTi，20CrMnMo。

其他性能相当或较好的材料。

5　设备要求

所选用的设备应能保证齿轮达到图样规定的硬度，有效淬硬层深度及淬硬层分布等技术要求。

5.1　火焰淬火设备

5.1.1　供气装置

a）燃烧气体（乙炔、天然气等）供给装置必须有输出控制装置、压力计和安全阀，在对稳定状态下输出燃烧气体的压力控制在 0.09～0.11MPa 范围内。

b）氧气瓶和氧气汇流排，应装压力计和减压阀，在稳定状态下输出氧气压力应符合 JB/T 9200 的规定。

c）采用氧乙炔焰时，乙炔与氧气的体积比为 1∶1.1～1∶1.5。

5.1.2　喷嘴和喷枪

喷嘴的设计及制造质量应能满足齿轮加热淬火要求。

a）喷嘴的结构形式视淬火方法而定，要考虑火孔直径、数量及排数和水孔直径、倾斜角度及排数。当齿轮旋转加热时，设定两个或多个固定火焰喷嘴；单齿沿齿槽加热淬火喷嘴，尽量仿形，在齿根部火孔数量要多些，火孔位置要低于齿顶 3～5mm。

对于淬裂倾向较大的合金钢可采用三室喷嘴，在火孔与水孔之间加压缩空气孔，以实现预冷淬火。

b）喷嘴的火孔直径一般为 0.3～0.6mm，水孔直径为 1.0～1.5mm，二者的行间距离一般为 10～18mm，水孔中心线与火孔中心线夹角呈 12°～30°。在火孔与水孔之间应设置挡水板，以免回火。

c）注意喷枪的保养，以防阻塞和爆炸。

5.1.3　淬火机床

根据齿轮的尺寸、模数和要求的淬硬层深度，适当选择一次式淬火机床或移动式淬火机床或齿轮专用淬火机床，其淬火机床应符合表 1 所示的精度值。

5.2　感应淬火设备

5.2.1　感应加热电源设备

a）根据齿轮模数、淬硬层深度选择适当频率的感应加热设备。

一般推荐高频（GP）适用于处理模数 4mm 以下、淬硬层深度 1.0～1.5mm 的齿轮。模数 6mm 以上的齿轮可用高频单齿淬火。

表 1

机床检验项目	精度	机床检验项目	精度
主轴锥孔径向圆跳动①/mm	0.3	顶尖连线时滑板移动的平行度/mm	0.3
回转工作台面的跳动②/mm	0.3	工件进给速度变化量③/（mm/s）	±5%

① 将检验棒插入主轴锥孔，在距主轴端面300mm处测量。

② 装上直径大于300mm的圆盘，在半径150mm处测量。

③ 测量工作行程300mm的平均速度。

超音频（CYP）适用于处理模数2～5mm、淬硬层深度2～5mm的齿轮。

中频 { 变频机(BPS)；半导体变频装置(KGPS) } 适用于处理模数6mm以上、淬硬层深度3～8mm的齿轮。

b）感应加热设备在正常工作条件下，必须按加热要求输出适当的功率，在输入端和输出端应有控制装置；电压变动量控制在±2.5%或输出功率变动量控制在±5%的范围内。

c）为克服由于网路电压变化引起的感应加热电参数波动，最好配置稳压装置。

d）设备应配有加热延时及冷却限时装置。

e）高频电磁辐射职业暴露应符合GB/T 9175的规定，噪声限制值不大于85dB。

5.2.2 感应器结构

感应器的结构应设计合理，加工精确，以满足齿轮质量要求。

a）齿轮旋转加热淬火感应器均为圈式结构。对于外齿轮、内齿轮、锥齿轮、双联及多联齿轮均应考虑感应器高度、内径、外径及合理的截面。

b）单齿同时加热感应器，其加热部分长度一般比齿宽短3～5mm，以防轮齿的两端面过热，对锥齿轮应考虑到感应器与大端、小端与齿面的距离。

c）单齿连续加热淬火感应器的喷液孔位置，对于模数5～10mm齿轮，喷液孔应低于齿顶1.5～2mm，对模数为10mm以上的齿轮，喷液孔则应高于齿顶1.5～2mm。

d）单齿沿齿槽加热淬火感应器的结构，根据齿轮模数及齿形设计成Π形和V形等不同形式。

e）导磁体的材料根据设备频率选用。高频导磁材料可采用铁氧体，中频导磁材料可采用硅钢片或铁氧体或中频导磁体。

5.2.3 淬火机床

根据齿轮模数、尺寸，可设置适当的一次加热式淬火机床和连续式加热淬火机床，或齿轮专用淬火机床，机床不允许有爬行现象，淬火机床精度同表1。

5.3 温度测试

火焰或感应加热时，用调节工艺参数来控制温度。若配有测量装置，其测温精度应能控制在±15℃以内。

5.4 淬火介质及冷却装置

5.4.1 淬火介质的种类，根据齿轮材料、尺寸、形状不同，可选用水、油、聚合物水溶液、油的乳化液、压缩空气等。

5.4.2 浸冷时，冷却槽应有足够容量以及将淬火介质保持在表2所列的温度范围。

表 2 （单位：℃）

淬火介质	水	油	聚乙烯醇水溶液①
温度范围	10～35	40～80	10～40

① 质量分数为0.1%～0.3%。见JB/T 4393、JB/T 9201。

5.4.3　喷冷时，冷却剂的数量及压力要保持稳定，并能调节。

5.4.4　冷却装置必须可靠，不得有堵孔现象。

5.4.5　淬火介质的成分、浓度要配制合适，以保持足够的冷却能力，应定期检验，并符合有关规定。

5.5　回火设备

5.5.1　齿轮可在有空气循环的电炉或盐浴、油浴中进行回火。回火设备有效加热区的温度均匀性，应按表3所示的允许温度偏差进行调节与控制。当功率和温度控制较稳定时，也允许用中频或高频电流感应加热回火。

表　3　（单位：℃）

所需温度范围	≤400	>400
允许温度偏差	±10	±15

5.5.2　应配有显示温度的自动记录装置，热电偶应定期校对，保持规定的精度。

6　火焰或感应淬火齿轮预备处理

6.1　齿面的表面粗糙度、齿端倒角、齿根过渡曲面均应符合技术条件。

6.2　轮齿工作面上不允许有砂眼、缩孔等缺陷，其他部位可进行焊补等补救措施，并按GB/T 8539规定检验。

6.3　应去除齿轮表面的毛刺、污垢、锈斑、铁屑以及其他杂物。

6.4　对于预切齿后调质或淬火后需精加工的齿轮，应留有加工余量。要保证精加工后有效硬化层达到图样要求。

6.5　合金结构钢预先应经调质处理，得到索氏体组织，40Cr也可进行正火处理，处理后的硬度和金相组织应符合技术条件。

6.6　碳素结构钢预先经调质、正火或正火加回火处理，以得到细珠光体与铁素体组织，其硬度和金相组织应符合技术条件。

6.7　合金结构钢和碳素结构钢可采用锻造余热进行正火或调质，其硬度和组织应符合技术条件。

7　齿轮火焰及感应淬火工艺规程

根据齿轮的模数、形状和尺寸选择以下的淬火方式。

a）齿轮旋转一次淬火法；

b）齿轮旋转（或不旋转）连续淬火法；

c）单齿沿齿面淬火法；

d）单齿沿齿槽淬火法。

7.1　火焰淬火工艺规程

7.1.1　设计和选择喷嘴的结构，选定淬火喷枪规格、型号与数量。

7.1.2　齿轮与喷嘴、冷却水嘴要保证正确的相对位置。

7.1.3　齿轮旋转淬火时，喷嘴与齿轮齿顶间隙为3~5mm，单齿沿齿槽加热淬火时，喷嘴与齿面间隙为5~8mm。

7.1.4　火焰加热时，燃烧气的压力、氧气压力同5.1.1，冷却水压力为0.2~0.4MPa，连续淬火喷嘴移动速度为1.2~4.2mm/s。

7.1.5　加热温度一般为840~900℃，以淬硬层的显微组织来确定最佳淬火温度，应避免齿顶过热及齿根加热不足。

7.1.6 碳钢采用水、聚合物水溶液喷冷或浸冷；合金钢采用聚合物水溶液、乳化液、压缩空气喷冷或聚合物水溶液、油浸冷。

7.2 感应淬火工艺规程

7.2.1 设计或选用感应器，保证在各种淬火方法下，感应器与齿轮或轮齿之间有合理的间隙值。

7.2.2 电压、电流、电功率等电参数的选择要匹配，并根据试淬结果调整各参数。

7.2.3 加热温度同7.1.5。

7.2.4 加热时间应根据模数、淬硬层深度要求、设备功率及加热形式确定。

7.2.5 齿轮与感应器的相对移动速度与感应器高度、加热时间的关系见式（2）：

$$v=\frac{h}{t} \tag{2}$$

式中 v——齿轮对感应器相对移动速度（mm/s），一般为2~9mm/s；

h——感应器高度（mm）；

t——加热时间（s）。

7.2.6 对复杂易变形齿轮最好进行预热，单齿加热淬火时，可采用隔齿加热以利减小变形和开裂倾向。

7.2.7 冷却方式

淬火介质种类同5.4.1。

a）当旋转加热淬火时，齿轮在淬火介质中旋转速度不得大于30r/min，或外圆线速度小于500mm/s。

b）当沿齿槽加热淬火时，必须对轮齿的两外侧齿面施以旁冷，以免已淬火轮齿齿面超过回火温度。

7.3 回火

为防齿轮淬火开裂及使齿轮的尺寸稳定，应进行回火工序。

7.3.1 回火可采用空气炉、浴炉及感应回火，对大齿轮也可采用自行回火。

7.3.2 回火温度可根据齿轮材料、硬度要求确定。参见附录A（提示的附录）。

7.3.3 回火时间通常在齿轮透烧后保温不少于1.5~2h。

7.3.4 淬火到回火的时间间隔一般不得超过4h，合金钢淬火后应立即回火。

7.3.5 对有回火脆性倾向的材料应有快冷措施。

8 齿轮火焰或感应淬火质量控制和检验方法

8.1 外观

齿轮火焰或感应淬火后，经目测，不得有裂纹、烧伤、剥落等缺陷，齿部不得有碰伤。

8.2 齿面硬度

8.2.1 对批量生产齿轮，每批抽检3件（首件、末件及中间抽件）检验硬度。

8.2.2 对齿轮旋转一次淬火的齿轮，在相隔约120°的三个轮齿上，于齿高中部齿面各测1~3点，也可用洛氏硬度计测定齿顶硬度。检测处的表面粗糙度 Ra 应小于3.2μm。

8.2.3 对单齿淬火大模数齿轮，可用肖氏硬度计或用其他硬度计测量轮齿分度圆附近的齿面硬度。

8.2.4 对模数小于2mm或无法使用硬度计测量的齿轮，可用标准锉刀或其他方法检验。

8.2.5 所测的硬度值不取平均值，其最低硬度亦应符合图样要求。表面硬度的偏差不允许超过表4及表5的容许值。按GB/T 230、GB/T 4341规定测定。

8.2.6 当硬度不符合图样要求时，应根据具体情况进行返修，在淬火前必须经正火或高温回火处理，为防止产生氧化皮和减少变形也可采用感应正火，返修次数不得超过两次。

表　4

洛氏硬度 HRC	表面硬度偏差值　HRC	
	同一件	同一批
>60	4	5
>50 ~ 60	4.5	5.5
40 ~ 50	5	6

表　5

肖氏硬度 HS	表面硬度偏差值　HS	
	同一件	同一批
>80	8	10
>67 ~ 80	6	8
55 ~ 67		

8.2.7　当齿宽小于 150mm 时，有效齿宽硬度区为齿宽的 80%，并对称分布于齿的两端；当齿宽大于或等于 150mm 时，有效齿宽硬度区按设计要求规定。

8.3　齿槽底面硬度

按各行业有关标准或图样要求检验。

8.4　有效淬硬层深度

有效淬硬层深度测定方法按 GB/T 5617 规定进行，测定结果应符合图样要求，同一件齿轮的有效淬硬层深度偏差值应控制在技术条件要求中值的 ±20% 范围内，重要齿轮偏差值控制在技术条件要求中值的 ±15% 范围内。

8.5　淬硬层分布

批量生产时，每批抽检 1 件；单件生产时，若有要求，可用齿形试块进行检验。

8.5.1　沿齿廓分布的淬硬层，其齿槽底面以下不同深度的硬度分布，应能达到技术条件要求。

8.5.2　当淬硬层恰好结束于齿根过渡曲面处，应进行返修或判废。

8.6　金相检验

批量生产时，每批抽检 1 件，对大模数齿轮及齿轮轴可检查试块，并经磨制、抛光、腐蚀后用金相显微镜观察。

8.6.1　晶粒度按 YB/T 5148 测定，5 ~ 8 级为合格，或按各行业技术要求评定。

8.6.2　金相组织按 JB/T 9204 评定，根据各行业技术要求确定合格范围。

8.6.3　心部组织按各行业技术要求评定。

8.7　裂纹检验

火焰或感应淬火后应 100% 进行裂纹检验，表面不允许有裂纹。当目测无法确定时，可采用磁粉探伤、荧光检验，着色检验及其他方法检验。

8.8　变形检验

8.8.1　齿轮的变形量应控制在产品图样或技术条件要求范围内。

8.8.2　批量生产时，每批抽检 3 件，按产品图样或技术条件检验。

8.8.3　单件生产的齿轮应定期抽验。

9　报告单

报告单应包括下列内容：

a）齿轮件号、材料、外径、内径、模数、技术要求；

b）质量检验结果；

c）数量及重量；

d）操作者、检验者的姓名或代号；

e）处理日期。

附　录　A

（提示的附录）

常用钢材回火温度与硬度的关系

表 A1　常用钢材回火温度与硬度的关系　　（单位：℃）

<table>
<tr><th>钢号 \ 硬度 HRC</th><th>30～35</th><th>>35～40</th><th>>40～45</th><th>>45～50</th><th>>50～55</th><th>>55～60</th><th>>60</th></tr>
<tr><td>45</td><td>480</td><td>420</td><td>350</td><td>300</td><td>180</td><td rowspan="9">—</td><td rowspan="9">—</td></tr>
<tr><td>ZG310-570</td><td rowspan="11">—</td><td rowspan="2">—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG340-640</td><td>390</td><td rowspan="2">300</td><td rowspan="3">180</td></tr>
<tr><td>40Cr</td><td>450</td><td>360</td></tr>
<tr><td>35SiMn</td><td>460</td><td>410</td><td>310</td></tr>
<tr><td>35CrMnSi</td><td>480</td><td>420</td><td rowspan="2">320</td><td rowspan="2">200</td></tr>
<tr><td>42CrMo</td><td>490</td><td>430</td></tr>
<tr><td>37SiMnMoV</td><td rowspan="5">—</td><td rowspan="2">450</td><td rowspan="2">380</td><td rowspan="2">250</td></tr>
<tr><td>38CrSiMnMo</td></tr>
<tr><td>20Cr</td><td rowspan="3">—</td><td rowspan="3">—</td><td rowspan="3">—</td><td>220</td><td>180</td></tr>
<tr><td>20CrMnTi</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>20CrMnMo</td><td>250</td><td>200</td></tr>
</table>

第六节　滚动轴承零件热处理技术条件

一、概论

滚动轴承是最重要的机械零件。在车辆、机床、电机、轻工机械、工程机械、化工设备、冶金设备、家用电器、航空、风电、核电、舰船等行业，应用非常广泛。滚动轴承一般由外套、内套、滚动体（钢球、滚子、滚针）、保持架等组成，主要采用轴承钢制造。在服役时需承受非常高的接触应力，其失效主要形式是疲劳剥落、磨损、断裂等，因而要求轴承钢应具有高而均匀的硬度、耐磨性、高的接触疲劳强度、高的弹性极限、良好的冲击韧性和断裂韧性、良好的尺寸稳定性和冷、热加工性能，以及适当的耐蚀性等。对于在化工、航空、核能、食品、仪器仪表等行业使用的轴承，还应具有耐蚀、耐低温、耐高温、抗辐射、防磁等性能要求。为保证上述性能要求，对轴承钢的冶金质量（纯净度、氧含量、化学成分及残留元素控制、组织的细化及均匀性）、表面（裂纹、夹渣、毛刺、折叠、结疤等）及内部质量（缩孔、裂纹、皮下气泡、过烧、白点等）均提出了很高的要求。可以认为，轴承钢是所有合金钢中质量要求最严、检验项目最多、制造技术最难的钢种，这在制造业已形成共识。

滚动轴承用钢品种较多，大体有高碳铬轴承钢（GCr4、GCr15、GCr15SiMn、GCr15SiMo、GCr18Mo 等）、渗碳轴承钢（10、15Mn、20Cr、G20CrMoA、G20CrNiMo、G20Cr2Ni4A、G20Cr2Ni4MoA 等）、不锈轴承钢（95Cr18、102Cr17Mo、12Cr18Ni9 等）、高温轴承钢（Cr4Mo4V、W18Cr4V、W9Cr4V2Mo 等）、中碳轴承钢（50、70Mn、GCr10、50SiMoA、50CrNiA、52SiMoVA 等）、特大型轴承钢（40CrMo、50CrMnMo 等），以及特殊轴承用钢（G60 等）等。其中，高碳铬轴

承钢应用最为广泛。

随着科技的进步，装备制造业的发展，对轴承的要求越来越高。例如，要求轴承大型化、高转速、高负荷、高可靠性、长寿命、抗腐蚀、耐高温、高的尺寸稳定性、低噪声、节能等。要实现这些要求，除应努力改善冶金质量外，在很大程度上还应大力提高热加工和热处理技术水平。

热处理对提高滚动轴承内在质量、延长使用寿命和可靠性起着重要作用。因此，在轴承制造过程中，热处理是关键工序。

一般用途的滚动轴承零件（套圈、滚动体）多采用高碳铬轴承钢（GCr15、GCr15SiMn 等）制造。其预备热处理主要是球化退火，目的是使组织变为均匀分布的细粒状珠光体，以获得最佳的机加工性能，并为淬火提供良好的原始组织。为了消除网状碳化物或改善网状碳化物分布，常辅以正火处理。最终热处理主要是淬火加低温回火。为了减少残留奥氏体量，增加尺寸稳定性和提高硬度，随后还应辅以冷处理及稳定化处理。应该看到，为使滚动轴承零件热处理后具有高的硬度、耐磨性，且不产生畸变及裂纹，除钢材的冶金及热加工质量（如碳化物的带状、网状、不均匀分布等）必须严格保证外，热处理工艺质量也是至关重要的。

对于要求轴承工作表面具有高耐磨性、高抗疲劳性而心部要求具有高强韧性、承受高冲击载荷的轴承零件，常采用渗碳钢制造，并进行渗碳加淬火、低温回火处理。

当前，我国随着科技的发展，新材料、新工艺、新装备在滚动轴承热处理工艺中已得到开发和应用。例如，高淬透性钢（GCr15SiMo 等）的开发和应用，通过热处理适应了超厚壁轴承零件的需要；限制淬透性钢（GCr4 等）制套圈表面淬火（TSH）用于铁路客车轴承内套圈，显著提高了轴承的寿命和可靠性；高频感应淬火轴承钢的开发既简化了生产工序，又降低了成本并提高了使用寿命；通过改变化学成分的短时渗碳轴承钢的开发可显著缩短渗碳时间；高碳铬轴承钢采用下贝氏体等温淬火或分级淬火工艺（包括贝氏体马氏体或马氏体贝氏体复合组织淬火），改善了轴承零件表面应力状态，明显提高了轴承的质量，节约了能源、缩短了生产周期，并适应大型轴承热处理需要；将轧制变形或锻造变形过程与球化退火工艺相结合，可显著缩短球化过程，并得到细小的渗碳体颗粒，将逐步走向成熟和应用。此外，通过淬火加热时控制奥氏体中碳含量及淬火时残留奥氏体量的热处理工艺技术的研究，将有助于显著提高轴承的接触疲劳寿命，具有重要的实用价值。

二、标准应用说明

已颁布的滚动轴承零件热处理的标准不是很多。本节所列的标准均为现行的机械行业标准。

在这些滚动轴承热处理机械行业标准中，列出了所适用的钢种，对上述钢制轴承零件工序间与成品零件热处理后的质量检验，提出了技术要求及检验方法、规则等，内容包括退火、淬火、回火后的硬度（高、低及均匀性），硬化层深度，显微组织，网状及带状碳化物，断口，裂纹，脱碳和软点，畸变等。尽管这些标准仍存在一定不足之处（如要求的合理性等），但实用性增加了，而且颁布的这些标准，积极与国际同类先进标准接轨，尽量缩小了与国际先进国家的差距。

经过改革开放后几十年的迅速发展，我国的滚动轴承数量、质量、品种均取得长足的进步，但与世界先进国家（如瑞典、美国、日本、德国）相比，仍存在品种不全、性能落后、寿命低、可靠性差、成本高、能源消耗大等不足，特别是重大装备配套的高端大型轴承，仍然大部分依赖进口。其原因除与冶金及热加工整体水平低外，热处理技术水平落后也是重要原因。为此，努力制订与贯彻先进且实用性强的轴承零件热处理工艺质量验收标准，用以促进我国轴承零件整体水平的提高，应是当前热处理标准化工作者的重要任务。（北京电子科技职业学院支道光供稿）

三、标准内容（JB/T 1255—2014、JB/T 1460—2011、JB/T 2850—2007、JB/T 7363—2011、JB/T 8566—2008、JB/T 8881—2011、JB/T 11087—2011）

滚动轴承　高碳铬轴承钢零件热处理技术条件（JB/T 1255—2014）

1　范围

本标准规定了符合 GB/T 18254 规定的 GCr15 、GCr15SiMn 、GCr15SiMo 、GCr18Mo 钢制滚动轴承套圈和滚动体（以下简称轴承零件）退火、淬火、回火后的技术要求和检验方法。

本标准适用于上述钢制轴承零件工序间与成品零件的热处理质量检验，也适用于其他高碳铬钢制轴承零件的热处理质量检验。对于有特殊要求的轴承零件按相应产品图样的规定。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 230.1　金属材料　洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）

GB/T 231.1　金属材料　布氏硬度试验　第 1 部分：试验方法

GB/T 1172　黑色金属硬度及强度换算值

GB/T 4340.1　金属材料　维氏硬度试验　第 1 部分：试验方法

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定法

GB/T 17394　金属里氏硬度试验方法

GB/T 18254　高碳铬轴承钢

GB/T 24606　滚动轴承　无损检测　磁粉检测

JB/T 2974—2004　滚动轴承代号方法的补充规定

JB/T 7361　滚动轴承　零件硬度试验方法

JB/T 7362　滚动轴承　零件脱碳层深度测定法

3　技术要求

3.1　轴承零件球化退火后的技术要求

轴承零件球化退火后的技术要求按表 1 的规定。

表 1　球化退火后技术要求

检查项目	技　术　要　求	
硬度	GCr15	其他钢种[①]
	179～207HBW（压痕直径 4.5～4.2mm）或 88～94HRB	179～217HBW（压痕直径 4.5～4.1mm）或 88～97HRB
显微组织	为细小、均匀分布的球化组织，应符合第一级别图中的第 2 级～第 4 级，允许有细点状球化组织存在，不允许有第 1 级和第 5 级所示的组织存在	
网状碳化物	应符合第四级别图中的第 1 级～第 2.5 级	
脱碳层深度	不大于单边最小加工余量的 2/3	

注：冷挤压或碳化物细化处理等特殊工艺处理后的轴承零件退火后的硬度不应大于 229HBW（压痕直径不应小于 4.0mm）。

① 其他钢种为 GCr15SiMn、GCr15SiMo 及 GCr18Mo，以下同。

3.2　轴承零件马氏体淬回火后的技术要求

3.2.1　硬度

轴承零件马氏体淬回火后的硬度及同一零件的硬度差分别按表2和表3的规定。

表2　轴承零件马氏体淬回火后的硬度

零件名称	成品尺寸/mm		淬火后硬度 HRC min	常规回火后硬度 HRC	高温回火后硬度[②] HRC				
	>	≤			200℃	250℃	300℃	350℃ min	400℃ min
套圈有效壁厚[①]	—	12	63	60～65	59～64	57～62	55～59	52	48
	12	30	62	59～64	57～62	56～60	54～58		
	30	—	60	58～63	56～61	55～59	53～57		
钢球公称直径	—	30	64	61～66	60～65[③]	58～63[③]	56～60		
	30	50	62	59～64	58～63[③]	57～61	55～59		
	50	—	61	58～64	57～62[③]	56～60	54～58		
滚子有效直径[①]	—	20	64	61～66	60～65[③]	58～63[③]	56～60		
	20	40	63	59～65	58～63[③]	57～61	55～59		
	40	—	61	58～64	57～62[③]	57～60	54～58		

注：对于尺寸段的划分及对应的硬度要求，制造厂与用户可根据轴承的使用工况和性能要求协商确定。

① 套圈有效壁厚和滚子有效直径的规定参见附录A，以下同。

② 高温回火温度200℃、250℃、300℃、350℃、400℃及回火后的硬度要求，其代号分别对应JB/T 2974—2004中表9中规定的高温回火代号S0、S1、S2、S3、S4。

③ 滚动体无特殊要求时，可不进行高温回火，硬度值按“按常规回火后硬度”。

表3　轴承零件马氏体淬回火后同一零件的硬度差

零件名称		套圈(外径)/mm			滚动体(有效直径)/mm		微型轴承零件
成品尺寸/mm	>	—	100	400	—	22	—
	≤	100	400	—	22	—	
硬度差 HRC	max	1	2	3	1	2	不检查

3.2.2　显微组织

轴承零件马氏体淬回火后的显微组织应由隐晶、细小结晶或小针状马氏体、均匀分布的细小残留碳化物和少量残留奥氏体组成，除微型轴承外，允许存在少量的针状或块状屈氏体。淬回火后的显微组织按表4的规定。

3.3　轴承零件贝氏体等温淬火后的技术要求

轴承零件等温淬火组织应由下贝氏体、残留碳化物组成，允许存在少量的针状或块状屈氏体及少量残留奥氏体。轴承零件等温淬火后的硬度和显微组织按表5的规定。

3.4　其他技术要求

轴承零件的其他技术要求按表6的规定。

表 4　轴承零件淬回火后的显微组织

<table>
<tr><th rowspan="3">公差等级</th><th rowspan="3">零件材料</th><th colspan="6">成品尺寸/mm</th><th colspan="3">显微组织</th></tr>
<tr><th colspan="2">套圈有效壁厚</th><th colspan="2">钢球公称直径</th><th colspan="2">滚子有效直径</th><th rowspan="2">马氏体
(第二级别图)</th><th colspan="2">屈氏体(第三级别图)②
≤</th></tr>
<tr><th>></th><th>≤</th><th>></th><th>≤</th><th>></th><th>≤</th><th>距工作面
3mm 以内</th><th>距工作面
3mm 以外</th></tr>
<tr><td rowspan="5">P0
P6
P6X
P5</td><td rowspan="3">GCr15</td><td>—</td><td>12</td><td>—</td><td>25.4</td><td>—</td><td>12</td><td rowspan="5">第 1 级 ~
第 4 级</td><td colspan="2">第 1 级</td></tr>
<tr><td>12</td><td>15</td><td>25.4</td><td>50</td><td>12</td><td>26</td><td>第 1 级</td><td>第 2 级</td></tr>
<tr><td>15</td><td>—</td><td>50</td><td>—</td><td>26</td><td>—</td><td colspan="2">第 2 级</td></tr>
<tr><td rowspan="2">其他钢种</td><td>—</td><td>30</td><td>—</td><td>50</td><td>—</td><td>26</td><td>第 1 级</td><td>第 2 级</td></tr>
<tr><td>30</td><td>—</td><td>50</td><td>—</td><td>26</td><td>—</td><td colspan="2">第 2 级</td></tr>
<tr><td rowspan="2">P2
P4</td><td rowspan="2">所有钢种①</td><td>—</td><td>12</td><td>—</td><td>25.4</td><td>—</td><td>12</td><td>第 1 级 ~
第 3 级</td><td colspan="2">第 1 级</td></tr>
<tr><td>12</td><td>—</td><td>25.4</td><td>—</td><td>12</td><td>—</td><td>第 1 级 ~
第 4 级</td><td>第 1 级</td><td>第 2 级</td></tr>
<tr><td>所有公差等级</td><td>GCr15</td><td colspan="6">微型轴承零件</td><td>第 1 级 ~
第 3 级</td><td colspan="2">不允许存在</td></tr>
</table>

① 指 GCr15、GCr15SiMn、GCr15SiMo 及 GCr18Mo。

② 屈氏体包括针状屈氏体和块状屈氏体，以下同。

表 5　轴承零件等温淬火后的硬度和显微组织

<table>
<tr><th rowspan="3">钢种</th><th colspan="2">套圈有效壁厚
/mm</th><th rowspan="3">硬度
HRC</th><th colspan="3">显　微　组　织</th><th rowspan="3">平均晶粒度</th></tr>
<tr><th rowspan="2">></th><th rowspan="2">≤</th><th rowspan="2">贝氏体
(第五级别图)
≤</th><th colspan="2">屈氏体(第三级别图)
≤</th></tr>
<tr><th>距工作面 3mm 以内</th><th>距工作面 3mm 以外</th></tr>
<tr><td>GCr15</td><td>—</td><td>25</td><td>58 ~ 62</td><td rowspan="2">第 1 级</td><td rowspan="2">第 1 级</td><td rowspan="2">第 2 级</td><td rowspan="2">8 级或更细</td></tr>
<tr><td>GCr18Mo
GCr15SiMo</td><td>—</td><td>45</td><td>58 ~ 62</td></tr>
</table>

表 6　轴承零件的其他技术要求

检验项目	技　术　要　求
裂纹	轴承零件淬回火后不允许有裂纹
钢球压碎载荷	钢球淬回火后压碎载荷值不应小于附录 B 中表 B.1 的规定
回火稳定性	经回火稳定性试验后的试样或轴承零件相应点的硬度差不应大于 1HRC
脱碳层深度及表面软点	工序间脱碳层深度参见附录 C 或按制造厂的规定。成品零件工作面不允许有脱碳和表面软点
套圈变形量	淬回火后允许的变形量参见附录 D 或按制造厂的规定
残留奥氏体含量	淬回火后的残留奥氏体含量参见附录 E 或按制造厂的规定
外观质量	淬回火后应无磕碰伤、锈蚀、花斑及污物附着，整体外观颜色（银灰、蓝、黑）均匀

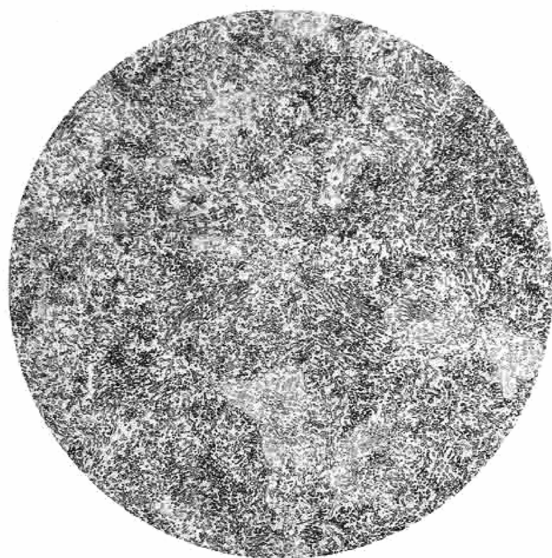
4　检验方法

检验方法按表7的规定。

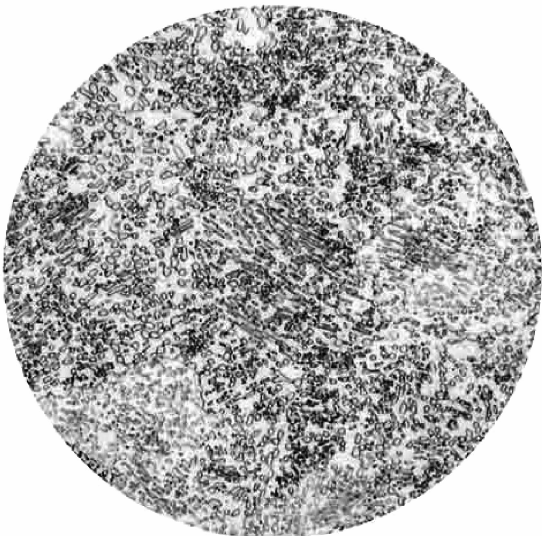
表7　检验方法

检验项目	检　验　方　法
硬度	1）应根据被测零件的硬度值及尺寸分别选用洛氏硬度计、布氏硬度计、维氏硬度计或里氏硬度计，试验方法按GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1、GB/T 17394及JB/T 7361的规定。硬度值的换算按GB/T 1172的规定 2）公称直径不大于15.875 0mm的钢球，公称直径不大于15mm的滚子，所测曲面硬度应按表F.1、表F.2的规定加上修正值。球面滚子的硬度测量在端面上进行
显微组织	用金相显微镜在放大500倍或100 0倍下检验： 1）球化退火组织采用2%硝酸酒精溶液浸蚀，根据碳化物颗粒的大小、数量及形状按第一级别图检验。有异议时，在100 0倍下检验 2）淬回火后的显微组织在纵断面上检验，采用2% ~4%硝酸酒精溶液浸蚀 3）淬回火后的马氏体组织根据马氏体的粗细程度、残留碳化物颗粒大小和数量按第二级别检验，有异议时，在100 0倍下检验。显微组织可以在淬火状态下检验，有异议时，在回火状态下检验 4）淬回火后的屈氏体组织根据屈氏体的形状、大小和数量按第三级别图检验。针状或块状屈氏体分别按相对应的屈氏体级别图检验，针状与块状混合型屈氏体按视场下占主要部分的屈氏体形态类型检验 5）贝氏体组织根据贝氏体粗细程度及残留碳化物颗粒大小和数量按第五级别图检验
网状碳化物	用金相显微镜在放大500倍下检验。退火试样在正常淬回火后的横截面上检验，采用4%硝酸酒精溶液深腐蚀，根据碳化物网的大小和封闭程度按第四级别图检验
脱碳层深度及表面软点	1）表面脱碳和软点可采用冷酸洗检验，检验规程见附录G 2）脱碳层深度的测定按JB/T 7362的规定。用金相法测定时，在退火状态下用2%硝酸酒精溶液浸蚀，对热镦钢球，试样磨面应垂直于环带。在淬回火状态下用4%硝酸酒精溶液浸蚀 3）脱碳层深度在脱碳最深处部位测定
裂纹	按GB/T 24606的规定进行检验，也可采用冷、热酸洗（见附录G）及其他仪器和方法检验。有异议时，采用热酸洗检验
钢球压碎载荷	按附录B的规定检验
套圈变形量	小尺寸套圈用百分表、内径仪、外径仪及平面度仪进行检查；大尺寸套圈用百分尺、卡尺、桥尺、塞尺进行检查
回火稳定性	将被测试样或零件按原回火工艺规范再次回火后，检查回火前后相应点的硬度差
平均晶粒度	按GB/T 6394的规定检验
残留奥氏体含量	采用X射线衍射法或磁性法测量，有异议时，采用X射线衍射法测量
外观质量	目视检查

第一级别图　退火组织

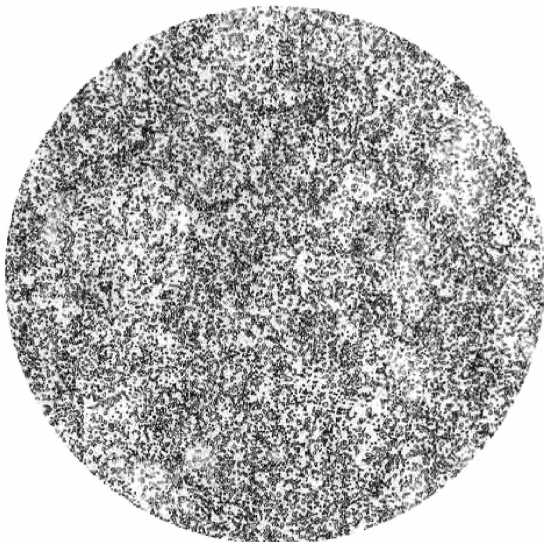


放大倍数：×500

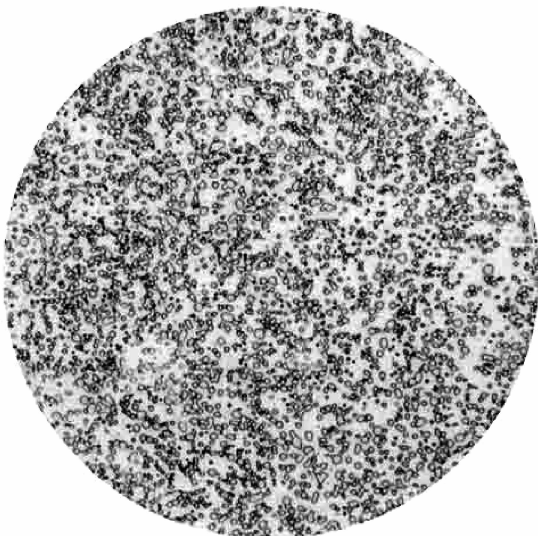


放大倍数：×1000

第1级

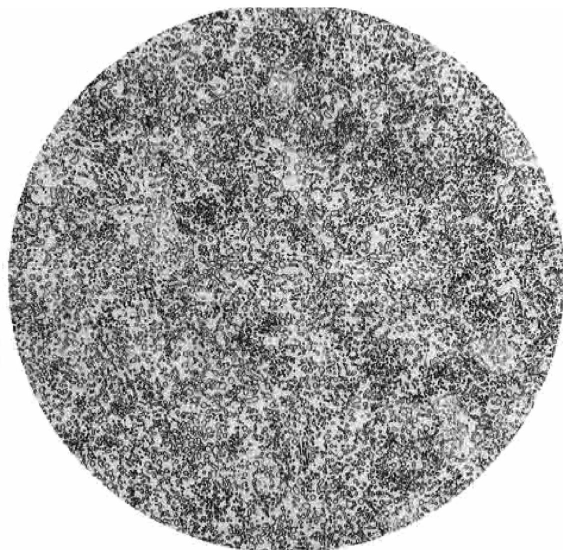


放大倍数：×500

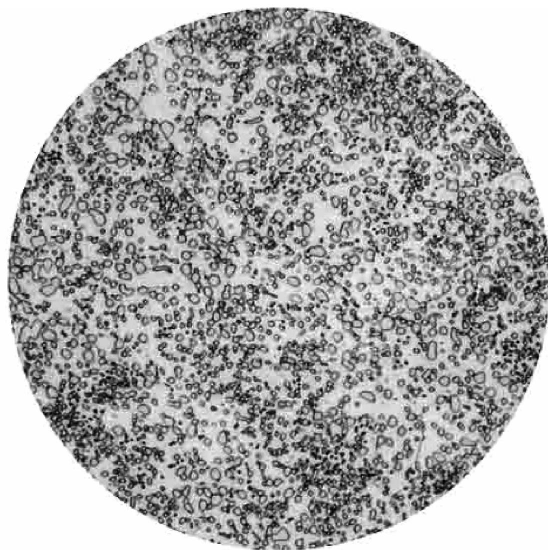


放大倍数：×1000

第2级

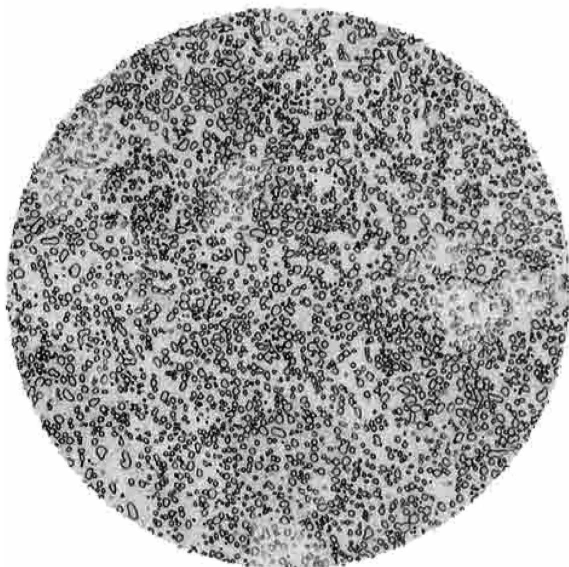


放大倍数：×500

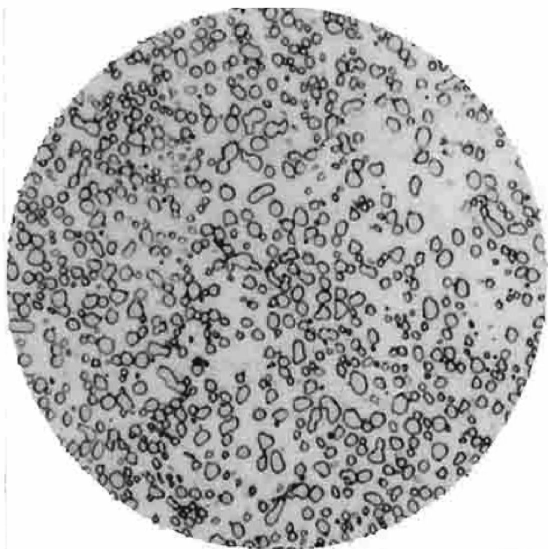


放大倍数：×1000

第3级

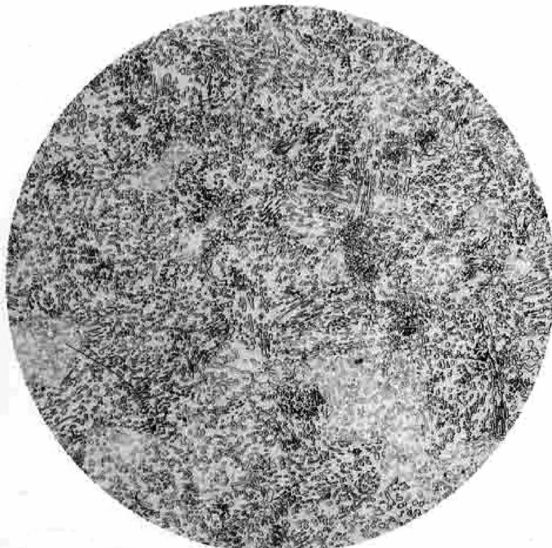


放大倍数：×500



放大倍数：×1000

第4级



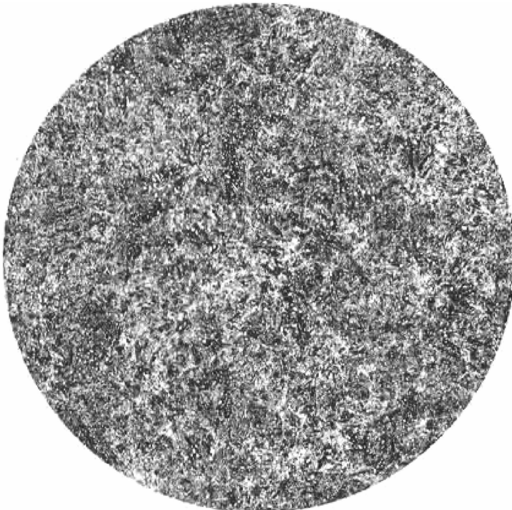
放大倍数：×500



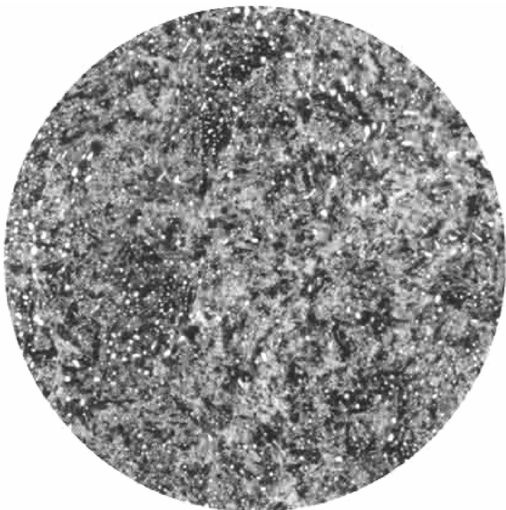
放大倍数：×1000

第5级

第二级别图　淬回火马氏体组织

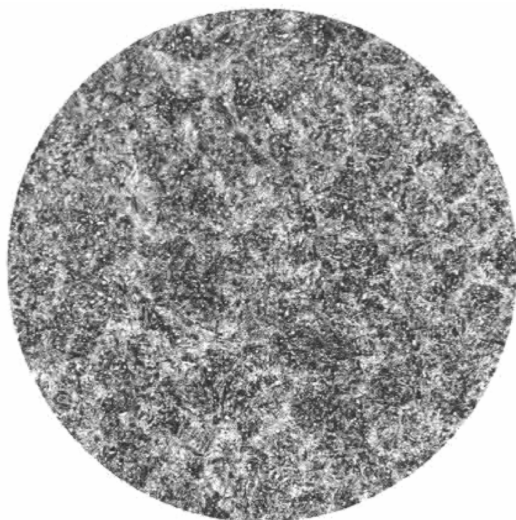


放大倍数：×500

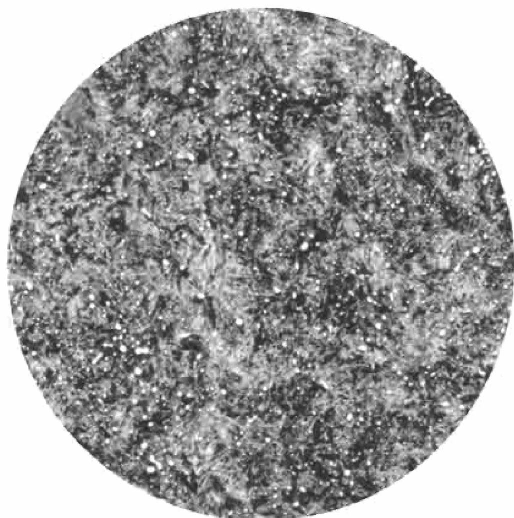


放大倍数：×1000

第1级

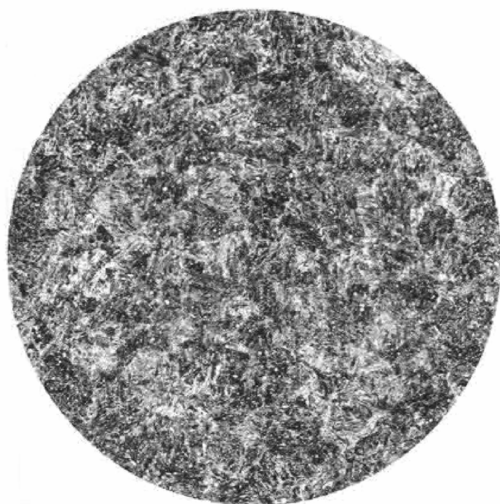


放大倍数：×500

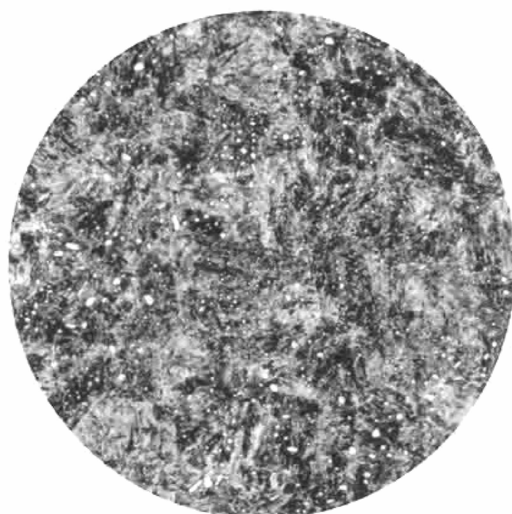


放大倍数：×1000

第2级

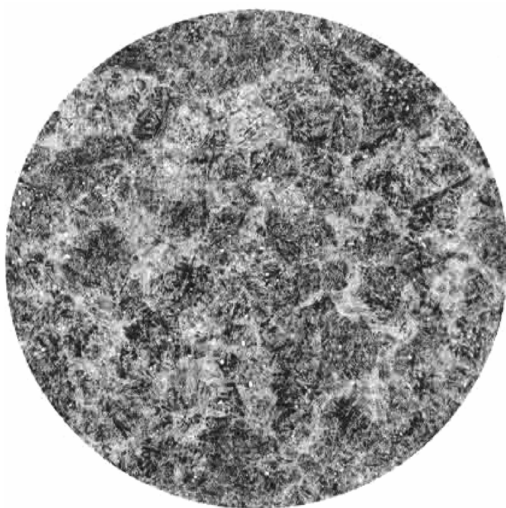


放大倍数：×500



放大倍数：×1000

第3级



放大倍数：×500

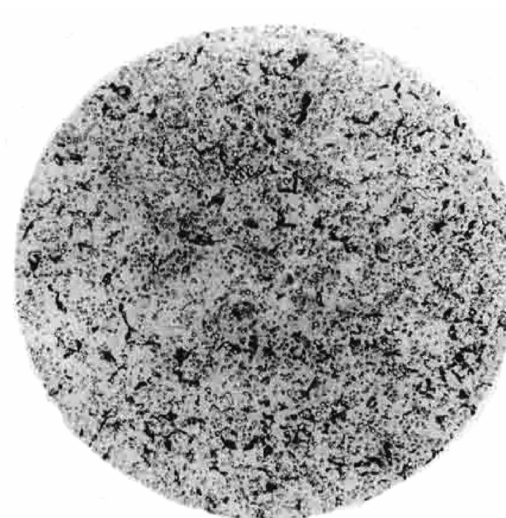


放大倍数：×1000

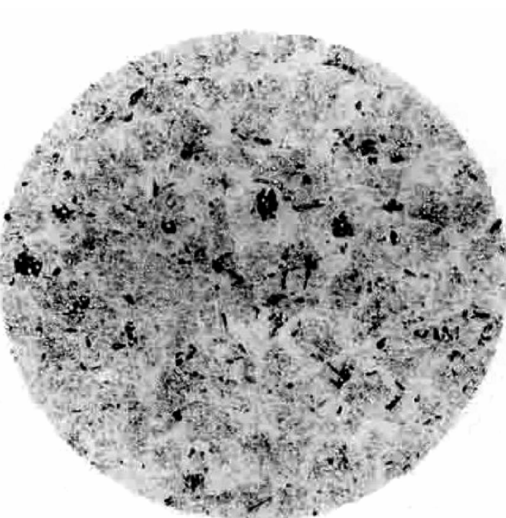
第4级

第三级别图　淬回火屈氏体组织

放大倍数：×500

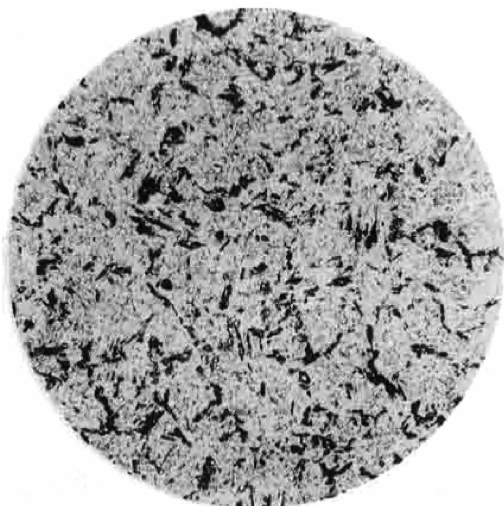


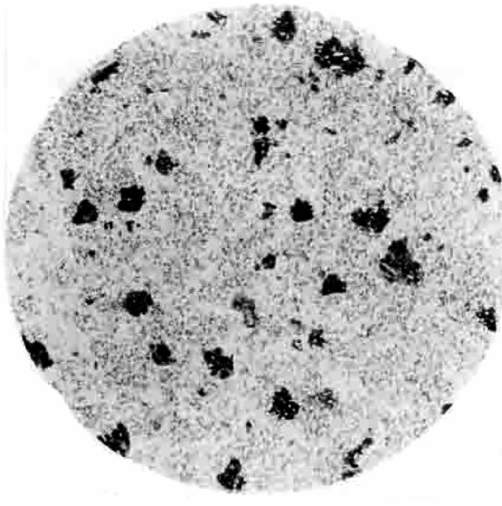
针状屈氏体



块状屈氏体

第1级


针状屈氏体

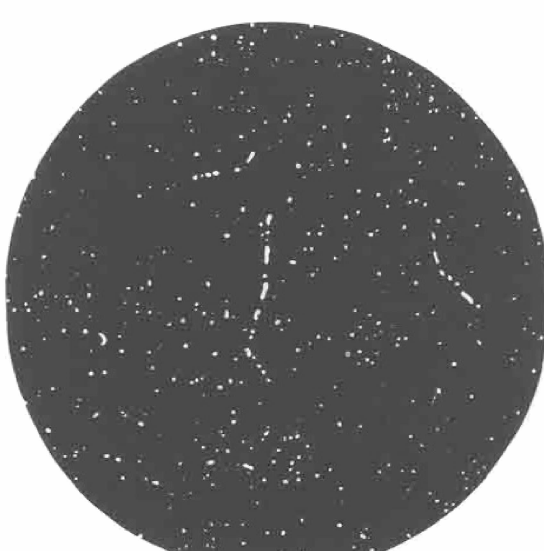

块状屈氏体

第2级

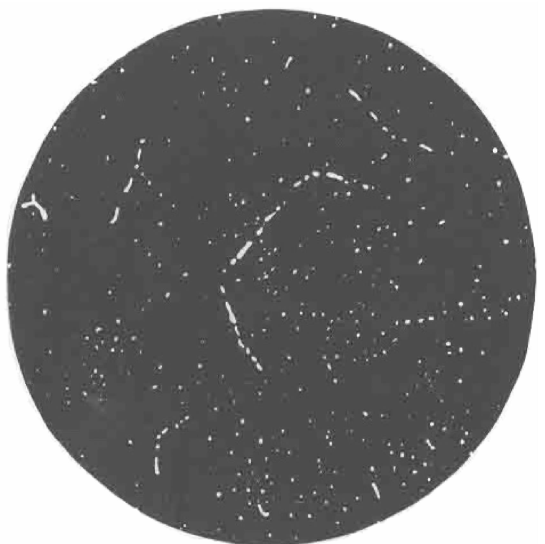
第四级别图　网状碳化物

放大倍数：×500


第1级


第2级


第2.5级


第3级

第五级别图　贝氏体淬火组织

放大倍数：×500


第1级

附　录　A

（资料性附录）

套圈有效壁厚和滚子有效直径

套圈有效壁厚和滚子有效直径的规定如图 A. 1 所示。

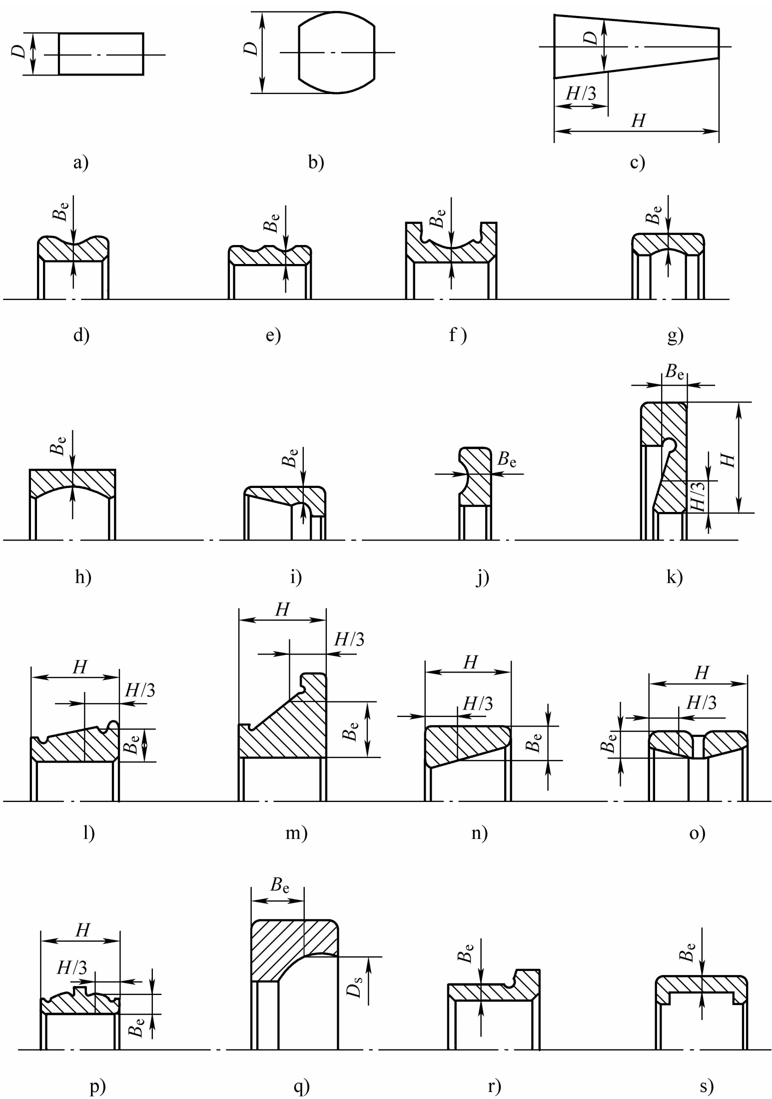


图 A.1　套圈有效壁厚和滚子有效直径的规定

注：1. D 为滚子的有效直径。对圆柱滚子，D 为公称直径；对圆锥滚子，D 为距大端面 $H/3$ 处的直径（H 为滚子长度）；对球面滚子，D 为最大直径。

2. B_e 为套圈的有效壁厚。图 d～j 所示的套圈 B_e 为套圈的沟底壁厚；图 k 所示的套圈 B_e 为距套圈的内环面 $H/3$ 处的厚度（H 为内外直径差值的 1/2）；图 l～n 所示的套圈 B_e 为距套圈大端面 $H/3$ 处的壁厚（H 为套圈的宽度）；图 o～p 所示的套圈 B_e 为距套圈端面 $H/3$ 处的壁厚（H 为套圈的宽度）；图 q 所示的套圈 B_e、D_s 分别为接触圆处的厚度和直径；图 r 和 s 所示的套圈 B_e 为套圈滚动面处的壁厚。

附　录　B

(规范性附录)

钢球压碎载荷试验规程及压碎载荷值

B.1　范围

本附录规定公称直径为 $\phi3$～$\phi50.8$mm 钢球的压碎载荷试验规程及压碎载荷值。

B.2 钢球压碎载荷试验规程

B.2.1 每批热处理的钢球取三组球（9 个）做钢球压碎载荷试验，钢球的尺寸公差应一致。

B.2.2 热处理后的半成品钢球做压碎试验时，钢球表面不允许有砂轮伤、凹坑、碰伤或麻点等表面缺陷。

B.2.3 进行压碎试验时，其加载速度可按 980～5880N/s 进行加载。

B.2.4 进行钢球压碎试验时，对钢球施加载荷值已超过标准规定时，虽钢球未被压碎，亦可卸载，若有特殊要求时，可将钢球加载至压碎为止。

B.2.5 将压球胎具由试验机上取下，打开保险罩，将钢球迅速取出扔入带盖的铁箱内，以防钢球爆碎而伤人，并记录其试验结果。

B.2.6 在试验进行过程中，因钢球安放不当而脱落或因钢球有裂纹等造成结果不准确时，此结果应作废，重取试样试验。

B.2.7 试验时钢球压碎载荷已达到规定的标准要求，而在卸载时钢球发生破碎，此结果按合格处理。

B.2.8 试验过程中不得突然改变加载速度或中途卸载。

B.2.9 钢球破碎时，存在试验机振动大，指针跳动，读数不准确，需注意钢球即将破碎时的载荷读数。

B.2.10 根据钢球的规格大小设计压碎胎具，压碎胎具角度为 90°，其胎具可用碳素工具钢或轴承钢制造，淬回火后的硬度为 60～65HRC。

B.3 钢球的压碎载荷值

钢球压碎载荷值见表 B.1。

表 B.1 高碳铬轴承钢成品钢球的压碎载荷值

钢球公称直径/mm	压碎载荷/N		钢球公称直径/mm	压碎载荷/N		钢球公称直径/mm	压碎载荷/N	
	热处理后	成品		热处理后	成品		热处理后	成品
3	3 720	4 800	6.746 88	18 910	24 000	10.318 75	46 130	56 910
3.175	4 210	5 390	7	20 380	25 870	10.5		
3.5	5 100	6 570	7.143 75	21 270	26 950	11	50 370	62 720
3.571 88	5 300	6 840	7.5	23 420	29 690	11.112 5	51 450	63 700
3.968 75	6 580	8 430	7.540 62	23 650	29 980	11.5	55 080	68 510
4	6 660	8 530	7.937 5	26 260	32 830	11.509 38	55 470	68 600
4.365 62	7 930	10 150	8	26 660	33 320	11.906 25	59 000	73 500
4.5	8 430	10 780	8.334 38	28 920	36 170	12	59 980	74 480
4.762 5	9 410	12 050	8.5	30 090	37 630	12.303 12	63 010	78 400
5	10 390	13 330	8.731 25	31 750	39 690	12.5	65 120	80 810
5.159 38	11 300	14 150	9	33 710	41 940	12.7	67 130	83 300
5.5	12 640	15 970	9.128 12	34 690	43 170	13	70 360	87 220
5.556 25	12 840	16 270	9.5	37 630 37 830	46 840 47 040	13.493 75	76 890	94 080
5.953 12	14 800	18 130				14	81 630	100 940
6	14 990	19 010	9.525	40 990	51 120	14.287 5	85 060	104 860
6.35	16 760	21 270	9.921 88	41 650	51 940	15	83 690	115 640
6.5	17 640	22 340	10	44 390	54 880	15.081 25	94 770	116 620

（续）

钢球公称直径/mm	压碎载荷/N		钢球公称直径/mm	压碎载荷/N		钢球公称直径/mm	压碎载荷/N	
	热处理后	成品		热处理后	成品		热处理后	成品
15.875	104 960	128 380	23	220 330	262 640	34	481 470	557 620
16	106 620	131 320	23.018 75	220 700	263 070	34.925	508 030	582 120
16.668 75	115 740	142 100	23.812 5	236 180	281 260	35	510 190	588 000
17	120 340	147 000	24	239 900	287 140	36	539 870	617 400
17.462 5	127 010	154 840	24.606 25	252 740	300 700	36.512 5	555 270	632 100
18	134 950	164 640	25	260 290	309 680	38	601 430	683 040
18.256 25	138 770	168 560	25.4	268 720	318 500	38.1	604 560	689 000
19	150 330	182 770	26	281 550	333 200	39.687 5	657 520	735 820
19.05	151 120	183 260	26.193 75	285 650	337 940	40	666 400	745 780
19.843 75	164 050	198 940	26.987 5	303 310	357 700	41.275	709 520	798 700
20	166 600	201 880	28	326 540	385 140	42.862 5	765 180	852 600
20.5	175 100	211 830	28.575	340 060	396 900	44.45	822 910	911 400
20.637 5	177 380	214 620	30	374 850	439 040	45	843 390	931 000
21	183 650	221 480	30.162 5	378 970	441 000	46.037 5	880 840	972 340
21.431 25	190 600	229 810	31.75	419 830	487 060	47.625	944 720	1 038 800
22	201 500	241 030	32	426 500	494 900	49.212 5	1 019 400	1 116 620
22.225	203 700	246 960	33	454 260	524 070	50	1 041 250	1 156 400
22.5	211 800	252 480	33.337 5	462 950	534 100	50.8	1 077 300	1 166 200

附　录　C

（资料性附录）

轴承零件淬回火后的脱碳层深度

轴承零件淬回火后的脱碳层深度见表 C.1。

表 C.1　轴承零件淬回火后的脱碳层深度

套　圈			钢　球			滚　子		
公称直径[①] /mm		脱碳层深度 /mm	公称直径 /mm		脱碳层深度 /mm	公称直径 /mm		脱碳层深度 /mm
>	⩽	max	>	⩽	max	>	⩽	max
—	30	0.03	—	19.05	0.05	—	20	0.03
30	180	0.05	19.05	30.162 5	0.06	20	50	0.05
180	250	0.06	30.162 5	42.862 5	0.08	50	80	0.08
250	500	0.15	42.862 5	76.2	0.12	80	—	0.10
500	—	0.20	76.2	—	0.15			

① 指内圈的公称内径或外圈的公称外径。

附　录　D

（资料性附录）

轴承套圈淬回火后允许的变形量

轴承套圈淬回火后允许的变形量见表 D. 1 ~ 表 D. 4。

表 D. 1　轴承外圈淬回火后允许的外径变动量 V_{Dsp} 及外径留量　　（单位：mm）

公称外径		直径系列 2、3、4	直径系列 8、9、0、1	尺寸系列 08、09、00、01、82、83	外径留量（推荐值）	
>	≤	V_{Dsp} max			min	max
—	30	0. 06	0. 08	0. 10	0. 15	0. 25
30	80	0. 12	0. 16	0. 18	0. 20	0. 30
80	150	0. 20	0. 25	0. 30	0. 30	0. 45
150	200	0. 25	0. 30	0. 35	0. 35	0. 55
200	250	0. 30	0. 40	0. 50	0. 50	0. 70
250	315	0. 45	0. 55	0. 65	0. 65	0. 85
315	400	0. 50	0. 60	0. 70	0. 80	1. 10
400	500	0. 65	0. 70	0. 85	1. 10	1. 30
500	630	0. 80	0. 85	1. 00	1. 20	1. 55

表 D. 2　轴承内圈淬回火后允许的内径变动量 V_{dsp} 及外径留量　　（单位：mm）

公称内径		直径系列 2、3、4	直径系列 8、9、0、1	尺寸系列 08、09、00、01、82、83	外径留量（推荐值）	
>	≤	V_{dsp} max			min	max
—	30	0. 05	0. 08	0. 10	0. 15	0. 25
30	80	0. 12	0. 14	0. 16	0. 20	0. 30
80	150	0. 18	0. 25	0. 30	0. 30	0. 45
150	200	0. 25	0. 30	0. 35	0. 35	0. 55
200	250	0. 30	0. 40	0. 50	0. 50	0. 70
250	315	0. 40	0. 50	0. 55	0. 65	0. 85
315	400	0. 50	0. 60	0. 70	0. 80	1. 10
400	500	0. 60	0. 70	0. 85	1. 10	1. 30

表 D. 3　轴承套圈淬回火后允许的平面度 A_{pe} 及宽度留量　　（单位：mm）

公称直径①		直径系列 2、3、4			直径系列 8、9、0、1			尺寸系列 08、09、00、01、82、83		
>	≤	宽度留量（推荐值）		A_{pe}	宽度留量（推荐值）		A_{pe}	宽度留量（推荐值）		A_{pe}
		min	max	max	min	max	max	min	max	max
30	50	0. 25	0. 35	0. 20	0. 30	0. 40	0. 25	0. 40	0. 50	0. 35
50	80	0. 30	0. 42	0. 25	0. 35	0. 47	0. 30	0. 45	0. 57	0. 40
80	120	0. 35	0. 50	0. 30	0. 40	0. 55	0. 35	0. 50	0. 62	0. 45

（续）

公称直径①		直径系列 2、3、4			直径系列 8、9、0、1			尺寸系列 08、09、00、01、82、83		
>	≤	宽度留量(推荐值)		A_{pe}	宽度留量(推荐值)		A_{pe}	宽度留量(推荐值)		A_{pe}
		min	max	max	min	max	max	min	max	max
120	180	0.40	0.55	0.35	0.50	0.65	0.45	0.60	0.75	0.50
180	250	0.45	0.63	0.40	0.55	0.73	0.48	0.65	0.83	0.55
250	300	0.50	0.70	0.45	0.60	0.80	0.52	0.75	0.95	0.60
300	400	0.60	0.85	0.55	0.70	0.95	0.60	0.85	1.10	0.75
400	500	0.70	0.95	0.60	0.80	1.05	0.70	0.95	1.20	0.80

① 指内圈的公称内径或外圈的公称外径。

表 D.4　推力轴承垫圈及隔圈淬回火后允许的直径变形量 V_{Dsp}、平面度 A_{pe} 及高度留量

（单位：mm）

公称直径①		直径系列 2、3、4 垫圈				直径系列 0、1 垫圈				隔　圈			
>	≤	V_{Dsp}	高度留量（推荐值）		A_{pe}	V_{Dsp}	高度留量（推荐值）		A_{pe}	V_{Dsp}	高度留量（推荐值）		A_{pe}
		max	min	max	max	max	min	max	max	max	min	max	max
30	50	0.15	0.30	0.40	0.15	0.15	0.35	0.45	0.20	—	—	—	—
50	80	0.25	0.35	0.45	0.25	0.25	0.40	0.50	0.35	—	—	—	—
80	120	0.25	0.40	0.52	0.35	0.35	0.45	0.57	0.35	1.0	0.50	0.65	0.45
120	180	0.30	0.45	0.57	0.40	0.40	0.50	0.62	0.45	1.0	0.60	0.75	0.55
180	250	0.35	0.50	0.65	0.45	0.45	0.60	0.75	0.55	1.0	0.80	1.00	0.70
250	300	0.40	0.60	0.78	0.55	0.55	0.80	0.98	0.70	1.2	0.90	1.10	0.80
300	400	0.45	0.70	0.90	0.65	0.65	0.90	1.10	0.75	1.2	1.00	1.25	0.90
400	500	0.55	0.80	1.00	0.70	0.70	1.00	1.20	0.85	1.2	1.20	1.45	1.10
500	600	0.60	0.90	1.15	0.80	0.80	1.05	1.35	0.95	1.5	1.40	1.70	1.20

① 指内圈的公称内径或外圈的公称外径。

附　录　E

（资料性附录）

轴承零件淬回火后的残留奥氏体含量

轴承零件淬回火后的残留奥氏体含量见表 E.1。

表 E.1　轴承零件淬回火后的残留奥氏体含量

轴承公差等级	P2、P4	P0、P5、P6、P6X
残留奥氏体含量（体积分数）	≤5%	≤15%

注：采用特殊热处理时，残留奥氏体含量可按用户的要求确定。

附　录　F

（规范性附录）

曲面硬度修正值

钢球表面硬度修正值见表 F. 1，圆柱滚子及圆锥滚子的滚动表面硬度修正值见表 F. 2。

表 F. 1　钢球表面硬度修正值

钢球公称直径		钢球硬度　HRC																
		50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
mm	in	修　正　值																
4. 762 5	3/16	6. 9	6. 6	6. 4	6. 2	6. 0	5. 8	5. 6	5. 4	5. 2	4. 9	4. 7	4. 5	4. 3	4. 1	—	—	—
5. 556 2	7/32	5. 7	5. 5	5. 3	5. 1	4. 9	4. 7	4. 5	4. 3	4. 1	3. 9	3. 7	3. 5	3. 3	3. 1	2. 9	—	—
5. 953 1	15/64	5. 3	5. 1	4. 9	4. 7	4. 5	4. 2	4. 0	3. 8	3. 6	3. 4	3. 3	3. 1	2. 9	2. 7	2. 5	2. 2	—
6. 350 0	1/4	4. 8	4. 6	4. 4	4. 2	4. 1	3. 9	3. 7	3. 5	3. 3	3. 1	2. 9	2. 8	2. 6	2. 4	2. 2	2. 0	—
7. 143 8	9/32	4. 4	4. 3	4. 1	3. 9	3. 7	3. 6	3. 4	3. 2	3. 0	2. 9	2. 7	2. 5	2. 3	2. 2	2. 0	1. 8	—
7. 937 5	5/16	4. 1	3. 9	3. 8	3. 6	3. 4	3. 3	3. 1	3. 0	2. 8	2. 6	2. 5	2. 3	2. 1	2. 0	1. 8	1. 7	—
8. 731 2	11/32	3. 8	3. 7	3. 5	3. 4	3. 2	3. 1	2. 9	2. 7	2. 6	2. 4	2. 3	2. 1	2. 0	1. 8	1. 6	1. 5	—
9. 525 0	3/8	3. 6	3. 4	3. 3	3. 1	3. 0	2. 8	2. 7	2. 5	2. 4	2. 2	2. 1	1. 9	1. 8	1. 6	1. 5	1. 3	—
10. 318 8	13/32	3. 4	3. 2	3. 1	3. 0	2. 8	2. 7	2. 5	2. 4	2. 2	2. 1	1. 9	1. 8	1. 6	1. 5	1. 3	1. 2	1. 0
11. 112 5	7/16	3. 2	3. 0	2. 9	2. 8	2. 6	2. 5	2. 3	2. 2	2. 0	1. 9	1. 8	1. 6	1. 5	1. 3	1. 2	1. 1	0. 9
11. 509 4	29/64	3. 1	3. 0	2. 8	2. 7	2. 5	2. 4	2. 3	2. 1	2. 0	1. 8	1. 7	1. 6	1. 4	1. 3	1. 2	1. 0	0. 8
11. 906 2	15/32	3. 0	2. 9	2. 7	2. 6	2. 5	2. 3	2. 2	2. 0	1. 9	1. 7	1. 6	1. 5	1. 3	1. 2	1. 1	0. 9	0. 8
12. 303 1	31/64	2. 9	2. 8	2. 7	2. 5	2. 4	2. 3	2. 2	2. 0	1. 8	1. 6	1. 5	1. 4	1. 2	1. 1	1. 0	0. 8	0. 7
12. 700 0	1/2	2. 8	2. 7	2. 6	2. 4	2. 3	2. 2	2. 0	1. 9	1. 7	1. 6	1. 5	1. 3	1. 2	1. 1	0. 9	0. 8	0. 6
13. 490 0	17/32	2. 7	2. 5	2. 4	2. 3	2. 1	2. 0	1. 9	1. 7	1. 6	1. 5	1. 3	1. 2	1. 1	0. 9	0. 8	0. 7	0. 5
14. 287 5	9/16	2. 5	2. 4	2. 2	2. 1	2. 0	1. 8	1. 7	1. 6	1. 4	1. 3	1. 2	1. 1	0. 9	0. 8	0. 7	0. 5	0. 4
15. 081 2	19/32	2. 3	2. 2	2. 1	1. 9	1. 8	1. 7	1. 6	1. 4	1. 3	1. 2	1. 0	0. 9	0. 8	0. 7	0. 5	0. 4	0. 3
15. 875 0	5/8	2. 2	2. 0	1. 9	1. 8	1. 7	1. 5	1. 4	1. 3	1. 2	1. 0	0. 9	0. 8	0. 7	0. 5	0. 4	0. 3	0. 2

表 F. 2　滚动体的滚动表面硬度修正值

滚子公称直径 /mm	滚动表面硬度　HRC																
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
	修正值																
5. 0	3. 0	3. 0	2. 9	2. 8	2. 7	2. 7	2. 6	2. 5	2. 5	2. 4	2. 3	2. 2	2. 2	2. 1	2. 0	2. 0	—
5. 5	2. 9	2. 8	2. 7	2. 7	2. 6	2. 5	2. 4	2. 4	2. 3	2. 2	2. 1	2. 1	2. 0	1. 9	1. 9	1. 8	—
6. 0	2. 7	2. 7	2. 6	2. 5	2. 4	2. 4	2. 3	2. 3	2. 2	2. 1	2. 0	2. 0	1. 9	1. 8	1. 7	1. 7	—
6. 5	2. 6	2. 5	2. 5	2. 4	2. 3	2. 3	2. 2	2. 1	2. 0	2. 0	1. 9	1. 8	1. 8	1. 7	1. 6	1. 6	—
7. 0	2. 5	2. 4	2. 4	2. 3	2. 2	2. 2	2. 1	2. 0	2. 0	1. 9	1. 8	1. 7	1. 7	1. 6	1. 5	1. 5	—
7. 5	2. 4	2. 4	2. 3	2. 2	2. 2	2. 1	2. 0	2. 0	1. 9	1. 8	1. 7	1. 7	1. 6	1. 5	1. 5	1. 4	—
8. 0	2. 3	2. 3	2. 2	2. 1	2. 1	2. 0	1. 9	1. 9	1. 8	1. 7	1. 6	1. 6	1. 5	1. 4	1. 4	1. 3	—

（续）

滚子公称直径/mm	滚动表面硬度　HRC																
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
	修正值																
9.0	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	—
10.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
11.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9
12.0	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8
13.0	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
14.0	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
15.0	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7

附　录　G
（规范性附录）
酸洗检验规程

G.1　冷酸洗

本规程适用于轴承零件淬、回火后表面软点、脱碳和零件的表面裂纹等缺陷的检验。零件酸洗前应经喷砂和除油清洗，以清除表面氧化皮及油污，在室温下进行冷酸洗。

G.1.1　冷酸洗工艺流程

G.1.1.1　酸洗处理

将轴承零件置于6%～30%（体积分数）的硝酸水溶液酸洗槽中，酸洗时间约1min，然后在流动的冷水槽中冲洗1～2min。

酸洗槽中硝酸浓度仅作参考，可根据零件酸洗后表面黑暗程度及尺寸消耗量来调整。酸洗零件表面脱碳时，硝酸浓度可采用6%。

G.1.1.2　第一明化处理

在第一明化槽内，对酸洗后零件进行明化处理，处理时间为10～20s，然后在流动的冷水槽中冲洗1～2min。明化槽溶液成分配比可采用表G.1中的任意一种。

表G.1　第一明化槽溶液成分配比

化学成分	种　类		化学成分	种　类	
	1	2		1	2
	体积分数			体积分数	
磷酸	—	10%～15%	磷酸三钠	6%～9%	—
氢氧化钠	3%～5%	—	硫酸	—	—
高锰酸钾	3%～5%	3%～5%	水	余量	余量

注：配制溶液时，应先加水后加硫酸，以免发生喷溅。

G.1.1.3　第二明化处理

在第二明化槽内，对第一明化处理后的零件进行再次明化处理，处理时间为1～2min，然后在流动的冷水槽中冲洗1～2min。

第二明化槽溶液成分：

a）盐酸（相对密度 $d=1.19$）10% ~15%；

b）二氯化锡 0.2%；

c）金属锡每槽（约 100kg）加 100g；

d）其余为水。

G.1.1.4 中和处理

将第二次明化处理后的零件置于 4% ~6%（体积分数）的硫酸钠水溶液中中和处理，处理时间 1 ~2min，然后在流动的冷水槽中冲洗 1 ~2min。

G.1.1.5 防锈处理

将中和处理后的零件置于防锈液中进行防锈处理。防锈液的成分配比可采用表 G.2 中的任意一种。

表 G.2 防锈液的成分配比

化学成分	种类			
	1	2	3	4
	体积分数			
油酸钠皂	10% ~15%	—	—	—
无水碳酸钠	—	—	0.5% ~0.6%	—
磷酸三钠	—	—	—	15% ~20%
三乙醇	—	8% ~12%	—	—
亚硝酸钠	2% ~3%	2% ~3%	10% ~15%	2% ~3%
水	余量	余量	余量	余量

G.1.1.6 其他

零件在各槽中均应上下窜动。

G.1.2 冷酸洗后的检验

将冷酸洗后的零件擦干后立即在散光灯下目视检查：

a）合格表面：表面呈均匀一致的暗灰色；

b）表面软点：表面呈云彩状暗黑色斑点，周界不完整；

c）脱碳：表面呈灰白色或暗黑色花斑；

d）裂纹：表面呈暗黑色较细条纹状。

G.2 热酸洗

本规程适用于轴承零件淬回火后表面裂纹的检验。零件酸洗前应经喷砂和除油清洗，以清除表面氧化皮及油污。

G.2.1 轴承零件在热酸洗前，应进行去应力回火，回火温度应大于 350℃，回火时间为 2 ~3h。

G.2.2 将轴承零件置于 50% 盐酸水溶液中，将溶液加热至 60℃ ±5℃，酸洗时间为 10 ~30min，然后在流动的冷水中冲洗 1 ~2min。

G.2.3 将热酸洗后的零件擦干后置于散光灯下目视检查裂纹。

滚动轴承 高碳铬不锈钢轴承零件热处理技术条件（JB/T 1460—2011）

1 范围

本标准规定了采用符合 GB/T 3086—2008 规定的 G95Cr18（原牌号为 9Cr18）、G102Cr18Mo（原牌号为 9Cr18Mo）、G65Cr14Mo 不锈钢制滚动轴承套圈和滚动体（以下简称轴承零件）的退火、淬回火后的技术要求、检验方法和规则等。

本标准适用于上述材料制造的轴承零件热处理质量检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1—2009 金属材料 洛氏硬度试验 第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）（ISO 6508-1：2005，MOD）

GB/T 231.1—2009 金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分：试验方法（ISO 6506-1：2005，MOD）

GB/T 1172—1999 黑色金属硬度及强度换算值

GB/T 3086—2008 高碳铬不锈轴承钢

GB/T 4340.1—2009 金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法（ISO6507-1：1997，MOD）

GB/T 24606—2009 滚动轴承 无损检测 磁粉检测

JB/T 1255—2001 高碳铬轴承钢滚动轴承零件 热处理技术条件

JB/T 7361—2007 滚动轴承 零件硬度试验方法

JB/T 7362—2007 滚动轴承 零件脱碳层深度测定法

3 技术要求

3.1 轴承零件退火后的技术要求

3.1.1 硬度

轴承零件退火后的硬度应为 197～255HBW（压痕直径为 4.3～3.8mm）或 94～100HRB。

3.1.2 显微组织

轴承零件退火后的显微组织应为均匀分布的细粒状珠光体，允许存在分散的一次碳化物。不允许有孪晶状碳化物组织存在，孪晶状碳化物显微组织见第一级别图。

3.1.3 脱碳层

轴承零件退火后的脱碳层深度不应超过淬火前单边最小加工留量的 2/3。

3.2 轴承零件淬回火后的技术要求

3.2.1 硬度

3.2.1.1 轴承零件淬回火后的硬度不应低于 58HRC。

3.2.1.2 需经高温回火的轴承零件，其回火后的硬度值应符合表 1 的规定。

表 1 轴承零件高温回火后的硬度值

回火温度/℃	轴承零件硬度 HRC ≥	回火温度/℃	轴承零件硬度 HRC ≥
200	56	300	53
250	54		

3.2.1.3　轴承零件淬回火后同一零件的硬度差应符合表2的规定。

表2　轴承零件淬回火后同一零件的硬度差

零件名称		套圈(外径)		滚动体(有效直径)①	
成品尺寸/mm	超过	—	100	—	22
	到	100	—	22	—
硬度差　HRC　max.		1	2	1	2

注：微型轴承零件不做要求。用户有要求时，可与制造厂协商确定。

①　钢球的有效直径为其公称直径，滚子的有效直径按JB/T 1255—2001中附录G的规定。

3.2.2　显微组织

轴承零件淬回火后的显微组织由马氏体、一次碳化物、二次碳化物和残留奥氏体组成，不允许有严重欠热组织和过热组织、孪晶状碳化物组织存在。显微组织应符合第二级别图的第2级～第5级；如硬度符合3.2.1的规定，允许有第1级欠热组织存在，不允许有第6级所示的孪晶状碳化物组织存在。

第二级别图的显微组织说明参见附录E。

3.2.3　裂纹

轴承零件淬回火后不应有裂纹。

3.2.4　脱碳及软点

轴承零件不应有脱碳或软点。

3.2.5　断口

轴承零件淬回火后的断口应为浅灰色细瓷状，应符合第三级别图的第2级，不应有第1级欠热断口和第3级过热断口存在。

3.2.6　回火稳定性

轴承零件按工艺文件规定的回火工艺规范进行再次回火，在原来位置相应点的最大硬度差不应超过1HRC。

3.2.7　钢球压碎载荷

公称直径（D_w）为3～50.8mm的钢球淬回火后和成品的压碎载荷值不应小于附录D的规定。$D_w<3$mm和$D_w>50.8$mm的钢球可不进行压碎载荷试验。

3.2.8　耐腐蚀性

轴承零件经耐腐蚀试验后，其工作表面不应有锈蚀和点蚀，零件打字处、倒角及尖角处允许有可擦去的轻微锈蚀及点蚀。

3.2.9　钢种混料

轴承零件不允许有混料。

3.3　其他

用户有其他特殊要求时，可与制造厂协商确定。

4　检验方法与规则

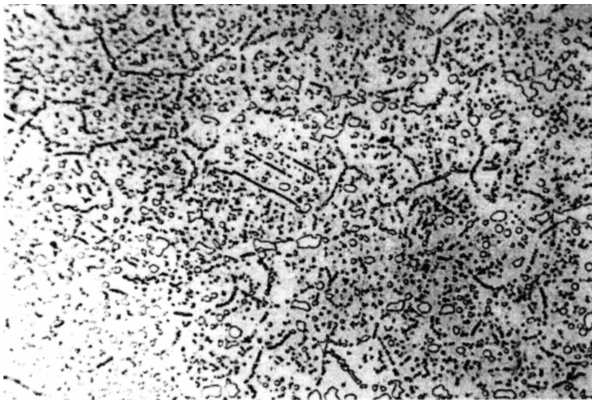
根据每批次轴承零件的型号、规格及数量等，抽取一定比例的轴承零件进行检验，检验方法按表3的规定。若制造厂能保证轴承零件断口、耐腐蚀性合格，则可不检验。

表3　检 验 方 法

检验项目	检　验　方　法
硬度	硬度试验可根据被测零件的硬度值及尺寸分别选用布氏、洛氏、维氏或里氏硬度计，试验方法分别按 GB/T 231. 1—2009、GB/T 230. 1—2009、GB/T 4340. 1—2009 及 JB/T 7361—2007 的规定 公称直径 D_w ≥4. 762mm（3/16in）的钢球，其硬度在球面上测定，有效直径≥5mm 的滚子，其硬度在圆柱或圆锥面上测定；公称直径 D_w <4. 762mm（3/16in）的钢球和有效直径 <5mm 的滚子在磨制平面上测定维氏硬度，维氏硬度和洛氏硬度换算按 GB/T 1172—1999 的规定；球面滚子硬度在端面测定 公称直径（D_w）为 4. 762mm（3/16in）~ 15. 875mm（5/8in）的钢球和测点处直径为 5mm ~ 15mm 的滚子，其硬度值为测值与附录 A 或附录 B 规定的硬度修正值之和；其他的以实测值为准
显微组织	显微组织用金相显微镜在 500 倍下，采用比较法按第一级别图和第二级别图检验，亦允许在 450 倍 ~ 600 倍下检验，但应考虑放大倍数的影响 淬回火显微组织主要按二次碳化物溶解程度进行检验，一次碳化物不作为淬回火显微组织的检验依据 浸蚀剂为盐酸 5mL + 苦味酸 1g + 酒精 100mL
裂纹	轴承零件淬回火及磨削裂纹可采用附录 C 规定的酸洗方法检验，也可按 GB/T 24606—2009 的规定进行磁粉检测。有异议时，以热酸洗方法为准
脱碳及软点	轴承零件表面脱碳和软点按附录 C 规定的冷酸洗方法检验。脱碳层的测定按 JB/T 7362—2007 的规定，轴承零件退火后的脱碳层应在最深处测定，热冲钢球脱碳层应在垂直于环带的截面上测定
断口	轴承零件淬回火后对热处理质量有异议时，应进行断口检查。断口按第三级别图采用比较法目视检查
钢球压碎载荷	钢球压碎载荷试验规程按 JB/T 1255—2001 中附录 A 的规定
耐腐蚀性	轴承零件的耐腐蚀性检验规程按附录 C 中 C. 3 的规定
钢种混料	轴承零件的钢种混料检验规程按附录 C 中 C. 4 的规定

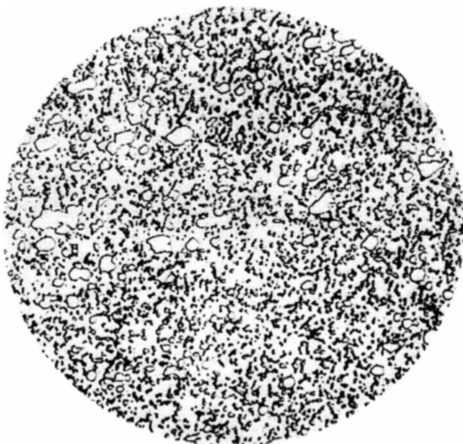
第一级别图　退火孪晶状碳化物组织

放大倍数：×500

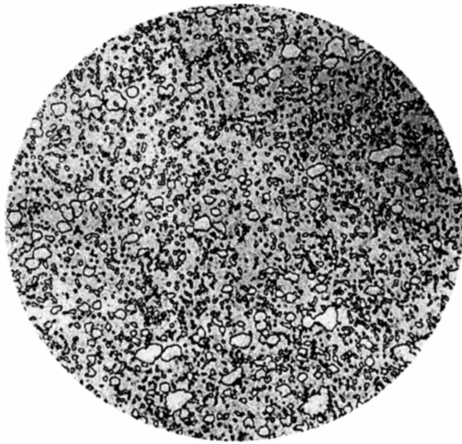


第二级别图　淬回火显微组织

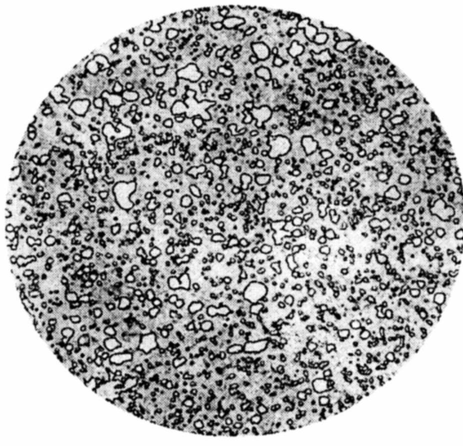
放大倍数：×500



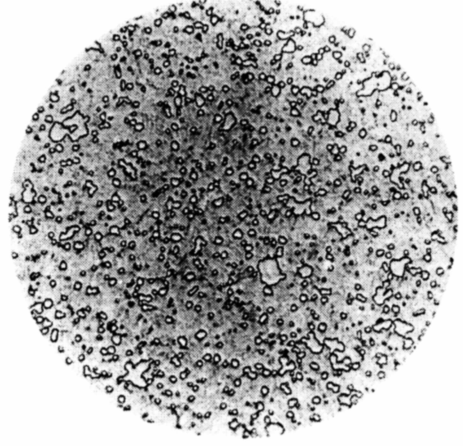
第1级



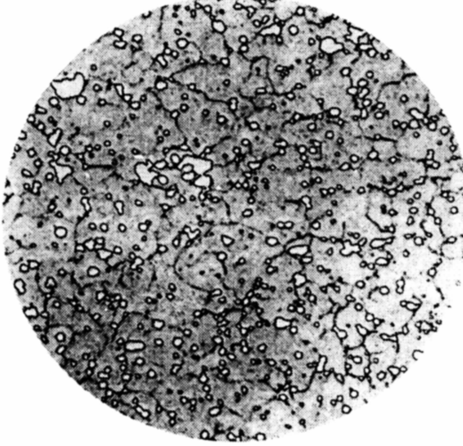
第2级



第3级



第4级



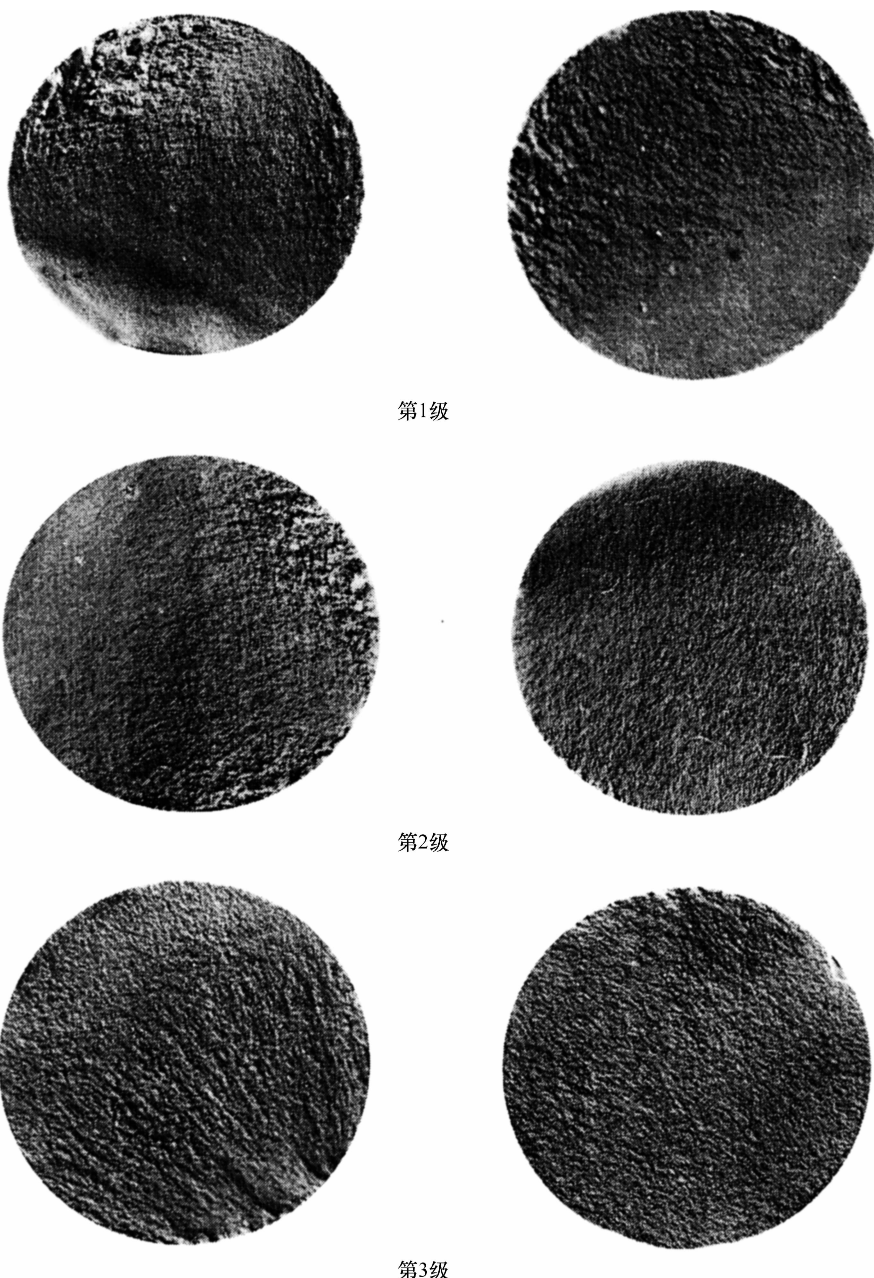
第5级



第6级

第三级别图　断口组织

放大倍数：×2



第1级

第2级

第3级

附　录　A

（规范性附录）

钢球硬度修正值

钢球硬度的修正值按表 A. 1 的规定。

表 A.1

钢球公称直径 D_w		钢球球面硬度测值 HRC																										
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
mm	in	修正值 HRC																										
4.762	3/16	9.0	8.8	8.6	8.3	8.1	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.2	4.9	4.7	4.5	4.3	4.1	—	—	—
5.556	7/32	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	4.9	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	—	—
5.953	15/64	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	4.9	4.7	4.5	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5	2.2	—
6.350	1/4	6.7	6.5	6.3	6.1	5.9	5.7	5.5	5.4	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	—
7.144	9/32	6.2	6.0	5.8	5.6	5.5	5.3	5.1	4.9	4.8	4.6	4.4	4.3	4.1	3.9	3.7	3.6	3.4	3.2	3.0	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	—
7.938	5/16	5.7	5.6	5.4	5.2	5.1	4.9	4.7	4.6	4.4	4.3	4.1	3.9	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.6	2.5	2.3	2.1	2.0	1.8	1.7	—
8.731	11/32	5.4	5.2	5.1	4.9	4.8	4.6	4.5	4.3	4.2	4.0	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4	2.3	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	—
9.525	3/8	5.1	4.9	4.8	4.6	4.5	4.3	4.2	4.0	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	—
10.319	13/32	4.8	4.7	4.5	4.4	4.2	4.1	4.0	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.0
11.112	7/16	4.6	4.5	4.3	4.2	4.0	3.9	3.8	3.6	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9
11.509	29/64	4.5	4.4	4.2	4.1	3.9	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	0.8
11.906	15/32	4.4	4.2	4.1	4.0	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8
12.303	31/64	4.3	4.1	4.0	3.9	3.7	3.6	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7
12.7	1/2	4.2	4.0	3.9	3.8	3.6	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.6
13.494	17/32	4.0	3.8	3.7	3.6	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5
14.288	9/16	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4
15.081	19/32	3.6	3.5	3.3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3
15.875	5/8	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2

附 录 B

（规范性附录）

滚子圆柱（圆锥）面硬度修正值

滚子圆柱（圆锥）面硬度的修正值按表 B.1 的规定。

表 B.1

滚子测点处直径 mm	滚子圆柱面或圆锥面硬度测值 HRC																										
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
	修正值 HRC																										
5	3.8	3.7	3.6	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	—
5.5	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	—
6	3.4	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	—
6.5	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	—
7	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	—
7.5	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	—
8	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	—
9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	—

（续）

滚子测点处直径 mm	滚子圆柱面或圆锥面硬度测值　HRC																										
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
	修正值　HRC																										
10	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
11	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9
12	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8
13	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
14	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
15	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7

附　录　C

（规范性附录）

酸洗检验规程

C.1　冷酸洗检验规程

本规程适用于高碳铬不锈钢（G95Cr18、G102Cr18Mo、G65Cr14Mo）轴承零件热处理后的表面脱碳、软点及磨加工中产生的磨削烧伤、磨削裂纹等缺陷的检验。

C.1.1　酸洗工艺

C.1.1.1　脱脂槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3）　3kg；

磷酸三钠（$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$）　3kg；

氢氧化钠（NaOH）　1kg；

水玻璃（Na_2SiO_3）　0.3kg；

水（H_2O）　100kg。

温度：75～85℃。

时间：2min以上（脱脂干净为止）。

控制指标：总碱量（Na_2CO_3）　4%～8%。

C.1.1.2　清洗槽

成分：水（H_2O）。

温度：75～85℃。

时间：1min。

C.1.1.3　流动冷水槽

时间：1min。

C.1.1.4　酸洗槽

成分：硝酸（HNO_3）　28kg；

磷酸（H_3PO_4）　8.5kg；

三氯化铁（$FeCl_3 \cdot 6H_2O$）　5kg；

水（H_2O）　70kg。

温度：室温。

时间：1～2min（轴承零件表面应酸洗至呈现灰色，无明显金属光泽）。

C. 1. 1. 5 流动冷水槽

时间：1～2min。

C. 1. 1. 6 第一明化槽

成分：氢氧化钠（NaOH）	3～5kg；
磷酸三钠（$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$）	6～9kg；
高锰酸钾（$KMnO_4$）	3～5kg；
水（H_2O）	81～88kg。

温度：室温。

时间：1～2min。

C. 1. 1. 7 流动冷水槽

时间：1～2min。

C. 1. 1. 8 第二明化槽

成分：盐酸（HCl）	12～15kg；
二氯化锡（$SnCl_2$）	0. 2～0. 5kg；
金属锡粒（Sn）	0. 1kg；
水（H_2O）	85～88kg。

温度：室温。

时间：30～90s。

C. 1. 1. 9 流动冷水槽

时间：1～2min。

C. 1. 1. 10 中和槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3）	5kg；
水（H_2O）	100kg。

温度：室温。

时间：1min。

控制指标：碳酸钠（Na_2CO_3）	3%～5%。

C. 1. 1. 11 流动冷水槽

时间：1min。

C. 1. 1. 12 防锈槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3）	0. 5kg；
亚硝酸钠（$NaNO_2$）	10kg；
水（H_2O）	100kg。

温度：室温。

时间：1min。

控制指标：碳酸钠（Na_2CO_3）	0. 3%～0. 5%；
亚硝酸钠（$NaNO_2$）	8%～10%。

C. 1. 2 酸洗检查

酸洗过的零件表面，经中和防锈后应在湿润的状态下，在散灯光下目视检查：

a）正常表面：呈均匀暗灰色；

b）软点：呈云彩状暗黑色斑点，周界不完整；

c）脱碳：呈灰白色或暗黑色花斑；

d）烧伤：一般烧伤呈灰黑色或黑色，二次淬火烧伤呈灰白色或白色；

e）裂纹：淬火、磨削裂纹一般较细，需仔细观察。

注：1. 酸洗时轴承零件在各槽溶液中均应上下窜动。

2. 在流动冷水槽中冲洗时，轴承零件应保证将上槽溶液冲洗干净。

3. 此酸洗工艺酸蚀量为2～4μm，磨削工序留量需考虑酸洗量。

4. 脱脂、中和、防锈各槽溶液成分也可由制造厂自行确定。

5. 可根据酸洗零件的数量和酸洗效果，定期更换酸洗、明化溶液或补充其有效成分。

C.2　热酸洗检验规程

本规程适用于高碳铬不锈钢（G95Cr18、G102Cr18Mo）淬回火后轴承零件的裂纹检验。

C.2.1　热酸洗前的准备

轴承零件在酸洗前需经高于350℃的回火，表面经喷砂或除油清洗。

C.2.2　热酸洗工艺

酸洗液成分：1∶1的盐酸水溶液。

温度：60℃ ±5℃。

酸洗时间：10～30min。

C.3　耐腐蚀检验规程

本规程适用于高碳铬不锈钢（G95Cr18、G102Cr18Mo）轴承零件耐腐蚀性的检验。G65Cr14Mo钢耐稀硝酸的腐蚀性能稍差，其耐稀硝酸的腐蚀性检验可参考使用本规程。

C.3.1　人工海水耐腐蚀检验

将轴承零件经除油清洗后，浸入人工海水中煮沸30min，停止加热后保持48h。取出后用自来水冲洗干净并进行表面目视检查。

人工海水成分：氯化钠（NaCl）	2.5kg；
氯化镁（$MgCl_2 \cdot 6H_2O$）	1.5kg；
无水氯化钙（$CaCl_2$）	0.12kg；
无水硫酸钠（Na_2SO_4）	0.4kg；
水（H_2O）	100kg。

C.3.2　稀硝酸水溶液耐腐蚀检验

将细磨工序后的轴承零件经除油清洗后，浸入5%硝酸水溶液中，温度为30～70℃，保持16h，隔0.5h用木棒将轴承翻动一次。取出后对轴承零件进行表面目视检查。

C.4　钢种混料检验规程

本规程适用于鉴别高碳铬不锈钢（G95Cr18、G102Cr18Mo、G65Cr14Mo）轴承零件中是否有其他钢种的零件混入。

C.4.1　酸洗工艺

C.4.1.1　脱脂槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3）	3kg；
磷酸三钠（$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$）	3kg；
氢氧化钠（NaOH）	1kg；
水玻璃（Na_2SiO_3）	0.3kg；
水（H_2O）	100kg。

温度：75～85℃。

时间：2min以上（脱脂干净为止）。

控制指标：总碱量（Na_2CO_3） 4%～8%。

C.4.1.2 清洗槽

成分：水（H_2O）。

温度：75～85℃。

时间：1min。

C.4.1.3 流动冷水槽

时间：1min。

C.4.1.4 酸洗槽

成分：硝酸［HNO_3:d（相对密度）=1.40］ 5kg；

水（H_2O） 100kg。

温度：室温。

时间：15～30s。

控制指标：硝酸［HNO_3:d（相对密度）=1.40］ 3%～5%。

C.4.1.5 流动冷水槽

时间：1min。

C.4.1.6 中和槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3） 8kg；

水（H_2O） 100kg。

温度：室温。

时间：1min。

控制指标：总碱量（Na_2CO_3） 3%～5%。

C.4.1.7 流动冷水槽

时间：1min。

C.4.1.8 防锈槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3） 0.5kg；

亚硝酸钠（$NaNO_2$） 10kg；

水（H_2O） 100kg。

温度：室温。

时间：1min。

控制指标：碳酸钠（Na_2CO_3） 0.3%～0.5%；

亚硝酸钠（$NaNO_2$） 8%～10%。

C.4.2 酸洗检查

C.4.2.1 钢种混料检查可在细磨工序后进行。

C.4.2.2 酸洗后零件表面可在散光灯下目视检查：

a）不锈钢轴承零件酸洗表面无颜色变化；

b）Cr4Mo4V 高温轴承钢零件酸洗表面呈浅灰色；

c）GCr15、GCr15SiMn 钢轴承零件酸洗表面呈黑色。

C.4.3 其他

在保证分选准确的基础上，允许采用其他检验方法。

C.5 滚动体表面缺陷检验规程

本规程适用于高碳铬不锈钢（G95Cr18、G102Cr18Mo、G65Cr14Mo）制滚动体冲压折叠、裂

纹、热处理后的脱碳等表面缺陷的检查。

C.5.1　酸洗工艺

C.5.1.1　脱脂槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3）　3kg；
磷酸三钠（$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$）　3kg；
氢氧化钠（NaOH）　1kg；
水玻璃（Na_2SiO_3）　0.3kg；
水（H_2O）　100kg。

温度：室温。

时间：2min 以上（脱脂干净为止）。

控制指标：总碱量（Na_2CO_3）　4%～8%。

C.5.1.2　清洗槽

成分：水（H_2O）。

温度：75～85℃

时间：1min。

C.5.1.3　流动冷水槽

时间：1min。

C.5.1.4　酸洗槽

成分：工业用盐酸（HCl）　5kg；
水（H_2O）　5kg。

温度：70～80℃。

时间：5～15min。

C.5.1.5　中和槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3）　5kg；
水（H_2O）　100kg。

温度：室温。

时间：1min。

控制指标：总碱量（Na_2CO_3）　3%～5%。

C.5.1.6　流动冷水槽

时间：1min。

C.5.1.7　防锈槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3）　0.5kg；
亚硝酸钠（$NaNO_2$）　10kg；
水（H_2O）　100kg。

温度：室温。

时间：1min。

控制指标：碳酸钠（Na_2CO_3）　0.3%～0.5%；
亚硝酸钠（$NaNO_2$）　8%～10%。

C.5.2　酸洗检查

酸洗时滚动体在各槽溶液中均应上下窜动。酸洗后的滚动体表面可在散光灯下进行目视检查。

注：检查数量由制造厂自行确定。

附　录　D
（规范性附录）
钢球压碎载荷值

公称直径（D_w）为3～50.8mm的高碳铬不锈钢（G95Cr18、G102Cr18Mo、G65Cr14Mo）制钢球的压碎载荷值按表D.1的规定。

表　D.1

钢球公称直径 D_w		压碎载荷/kN		钢球公称直径 D_w		压碎载荷/kN	
mm	in	淬回火后	成品	mm	in	淬回火后	成品
3		3.68	4.80	9.525	3/8	35.5	44.2
3.175	1/8	3.90	5.10	9.922	25/64	38.4	48.7
3.5		5.45	6.95	10		40.5	49.8
3.572		5.60	7.20	10.319	13/32	41.5	51.5
3.969	5/32	6.20	7.90	10.5		46.6	55.8
4		6.22	7.95	11		47.8	59.2
4.366		7.43	9.40	11.112	7/16	48.5	59.8
4.5		8.40	10.8	11.5		51.5	64.2
4.762	3/16	8.90	11.2	11.509	29/64	51.8	64.5
5		10.8	13.5	11.906	15/32	55.5	69.0
5.159		11.1	14.1	12		57.5	71.5
5.5		11.8	15.0	12.303	31/64	59.2	73.5
5.556	7/32	12.0	15.2	12.5		60.8	75.8
5.953	15/64	13.8	17.0	12.7	1/2	63.2	78.2
6		14.8	18.8	13		65.2	83.2
6.35	1/4	15.8	20.0	13.494	17/32	67.8	86.5
6.5		18.0	23.2	14		74.5	94.5
6.747	17/64	18.8	24.0	14.288	9/16	76.0	96.2
7		19.5	24.8	15		84.2	105
7.144	9/32	20.0	25.5	15.081	19/32	84.5	105
7.5		23.2	29.0	15.875	5/8	93.8	118
7.541		23.8	29.20	16		98.8	125
7.938	5/16	24.8	30.8	16.669	21/32	102	130
8		27.2	34.0	17		110	138
8.334		28.1	35.36	17.462	11/16	115	142
8.5		29.0	36.2	18		122	152
8.731	11/32	29.8	37.2	18.256	23/32	125	155
9		33.5	41.5	19		135	168
9.128		34.0	42.0	19.05	3/4	135	168
9.5		35.2	44.0	19.844	25/32	148	182

（续）

钢球公称直径 D_w		压碎载荷/kN		钢球公称直径 D_w		压碎载荷/kN	
mm	in	淬回火后	成品	mm	in	淬回火后	成品
20		155	190	31.75	1 1/4	355	438
20.5		156	195	32		375	460
20.638	13/16	158	198	33		392	480
21		172	215	33.338	1 5/16	392	480
21.431		175	220	34		418	510
22		182	225	34.925	13/8	430	522
22.225	7/8	185	228	35		450	545
22.5		190	230	36		462	558
23		195	235	36.512	1 7/16	470	568
23.019	29/32	198	238	38		510	615
23.812	15/16	212	258	38.1	1 1/2	512	615
24		225	275	39.688		570	682
24.606		231	282	40		582	695
25		235	288	41.275	1 5/8	600	718
25.4	1	240	292	42.862	1 11/16	648	765
26		260	315	44.45	1 3/4	697	820
26.194		268	318	45		755	882
26.988	1 1/16	272	328	46.038		777	908
28		282	348	47.625	17/8	800	935
28.575		288	355	49.212		860	981
30		318	392	50		895	1032
30.162	1 3/16	320	395	50.8	2	910	1050

附 录 E
（资料性附录）
淬回火显微组织级别图说明

淬回火显微组织级别图（见第二级别图）说明如下：

a）第1级：马氏体+大量残留二次碳化物和一次碳化物+少量残留奥氏体

此组织是在淬火温度下限或保温时间短的情况下形成的，碳化物未能很好溶解，固溶体浓度低，因而硬度往往低于标准规定。

b）第2级：马氏体+较多残留二次碳化物和一次碳化物+少量残留奥氏体

此组织是在淬火温度下限或保温时间稍短的情况下形成的，硬度一般在标准规定的合格范围的中下限。

c）第3级：马氏体+适当的残留二次碳化物和一次碳化物十少量残留奥氏体

此组织是在淬火温度及保温时间适当的情况下形成的。

d）第4级：马氏体+稍微少量残留二次碳化物和一次碳化物+少量残留奥氏体

此组织是在淬火温度稍高或保温时间稍长的情况下形成的。

e）第5级：马氏体+较少量残留二次碳化物和一次碳化物+少量残留奥氏体

此组织是在淬火温度较高或保温时间较长的情况下形成的，为合格淬火组织的上限组织。

f）第 6 级：马氏体 + 残留二次碳化物和一次碳化物十部分残留奥氏体 + 孪晶状碳化物组织

此组织主要是在锻造加热温度过高的情况下已形成的孪晶状碳化物组织，在淬火时不能消除。

滚动轴承　Cr4Mo4V 高温轴承钢零件　热处理技术条件（JB/T 2850—2007）

1　范围

本标准规定了 Cr4Mo4V 高温轴承钢制滚动轴承零件的退火、淬火、回火后的技术要求、检验方法、酸洗检查规程、钢球压碎载荷值等。

本标准适用于该钢制滚动轴承零件工序间与成品零件的热处理质量检验。对有特殊要求的轴承零件，应按相应的标准和产品图样规定。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1—2004　金属洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）（ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 231.1—2002　金属布氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（eqv ISO 6506-1：1999）

GB/T 4340.1—1999　金属维氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（eqv ISO 6507-1：1997）

GB/T 6394—2002　金属平均晶粒度测定法（ASTM E 112：1996，MOD）

JB/T 1255—2001　高碳铬轴承钢滚动轴承零件热处理技术条件

JB/T 7361—2007　滚动轴承　零件硬度试验方法

JB/T 7362—2007　滚动轴承　零件脱碳层深度测定法

3　技术要求

3.1　轴承零件退火后的技术要求

3.1.1　硬度

轴承零件退火后的硬度为 197～241HBW（压痕直径为 4.3～3.9mm）或 94～100HRB。

3.1.2　脱碳层

轴承零件的脱碳层应在最深处测量，其深度不应超过淬火前每边最小加工余量的三分之二。

3.2　轴承零件淬、回火后的技术要求

3.2.1　硬度

3.2.1.1　淬、回火后的硬度

套圈和滚动体淬火后硬度一般不应低于 63HRC。回火后硬度：套圈为 60～65HRC；滚动体为 61～66HRC。

3.2.1.2　同一零件的硬度差

淬、回火后同一零件的硬度差为：

a）套圈外径不大于 100mm，滚动体直径不大于 22mm 时，同一零件硬度差不应大于 1HRC；

b）套圈外径大于 100mm，滚动体直径大于 22mm 时，同一零件硬度差不应大于 2HRC；

c）钢球直径不大于 1.588mm（1/16in）不检查同一零件硬度差。

注：圆锥滚子直径以小头计算。

3.2.2　淬火组织晶粒度

轴承零件淬火组织晶粒度采用比较法按第一级别图评定：

a）第1级组织晶粒度经回火后，硬度符合规定方为合格；

b）第2级～第4级组织晶粒度为合格；

C）如组织晶粒度超过第4级应选其最严重视场，按GB/T 6394—2002中5.1.2a）的规定，放大100倍进行观察，五级晶粒度的晶粒超过该视场面积的15%为不合格。

3.2.3　显微组织

轴承零件淬、回火后的显微组织应由马氏体、一次碳化物、二次碳化物和残留奥氏体组成。

回火后的显微组织按第二级别图依据基体马氏体组织的粗细和碳化物溶解程度评定：

a）第1级为欠热组织，硬度符合规定方为合格；

b）第2级～第4级为合格组织；

c）大于第4级为过热不合格组织。

3.2.4　回火稳定性

按零件的正常回火温度重新回火2h，在原来位置相应点测量硬度，相应点的最大硬度差不得超过1HRC。

3.2.5　裂纹和软点

轴承零件淬、回火后及磨加工过程中不应有裂纹和软点。

3.2.6　脱碳层和其他表面缺陷

轴承零件经淬、回火后产生的表面脱碳层、腐蚀坑和氧化皮等缺陷应在磨加工过程中除净，成品轴承零件不应有脱碳层和其他表面缺陷。

3.2.7　钢球压碎载荷

3～50.8mm（2in）的钢球应进行压碎载荷试验，其压碎载荷值不应小于附录F的规定。

3.2.8　套圈变形量

轴承套圈淬、回火后的变形量应按JB/T 1255—2001附录F的规定。

3.2.9　混料

轴承零件中不得混入其他材料。

4　检验方法

检验方法按表1的规定。

表1　检验方法及规程

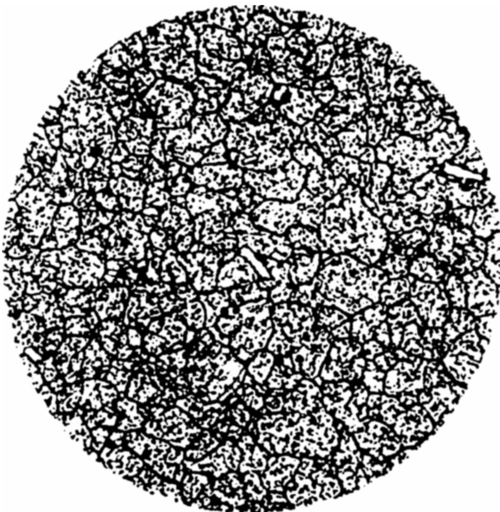
检验项目	检验方法及规程
硬　　度	硬度检查可根据被测零件的硬度值高低及尺寸分别选用布氏、洛氏、维氏或里氏硬度计，按GB/T 230.1、GB/T 231.1、GB/T 4340.1及JB/T 7361的规定进行。直径为4.762～15.875mm（3/16～5/8in）的钢球在球面上测定硬度，直径为5～15mm的滚子在圆柱或圆锥面上测定硬度，其硬度值分别为测值与附录A或附录B规定的硬度修正值之和。球面滚子测端面硬度。钢球直径小于4.762mm（3/16in），滚子直径小于5mm在磨制平面上测定维氏硬度，维氏硬度和洛氏硬度换算按JB/T 1255—2001中附录D的规定。直径大于15.875mm的钢球，直径大于15mm的滚子其硬度以实测值为准
晶粒度和显微组织	淬火组织晶粒度与淬、回火后的显微组织评级应在500倍下进行，亦可在450～600倍下评定，但应考虑放大倍数的影响。浸蚀剂为：硝酸：盐酸：甘油＝1：2：3或盐酸5mL、苦味酸1g、酒精100ml。采用比较法按第一级别图和第二级别图评定
裂纹和软点	轴承零件淬、回火及磨削裂纹可采用附录C冷、热酸洗方法，也可采用JB/T 1255—2001中附录B规定的磁力探伤方法检查，当有异议时，以热酸洗方法为准 表面软点按附录C冷酸洗方法检查

（续）

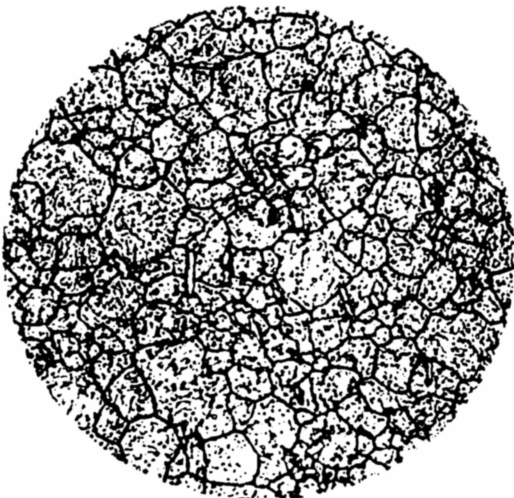
检验项目	检验方法及规程
脱碳层和其他表面缺陷	脱碳层深度的检查按 JB/T 7362 的规定 测定热镦钢球退火后的脱碳层深度时，应在垂直于环带的磨面上测量，以脱碳层最深处为准 轴承零件表面缺陷检查按附录 D 的规定
套圈变形量	小尺寸套圈的变形量用百分表、内径仪、外径仪及平面度仪检查：大尺寸套圈的变形量用百分尺、管尺、塞规检查
钢球压碎载荷	钢球压碎载荷试验规程按 JB/T 1255—2001 中附录 A 的规定
回火稳定性	按零件的正常回火温度重新回火 2h，检查回火前、后相应点的硬度差
混　　料	Cr4Mo4V 高温轴承钢零件中是否混入其他钢种的零件按附录 E 的规定检查

第一级别图　淬火组织晶粒度

放大倍数：×500



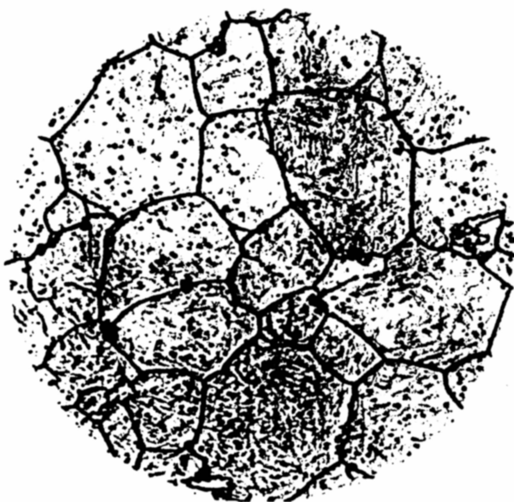
第1级



第2级



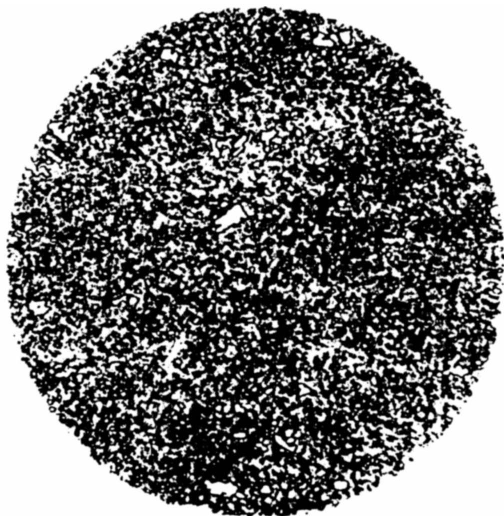
第3级



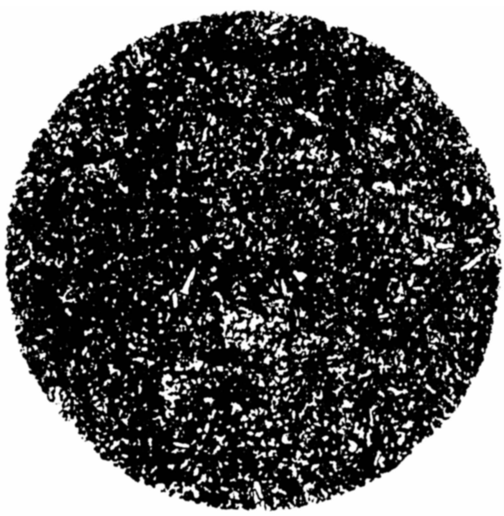
第4级

第二级别图　回火后显微组织

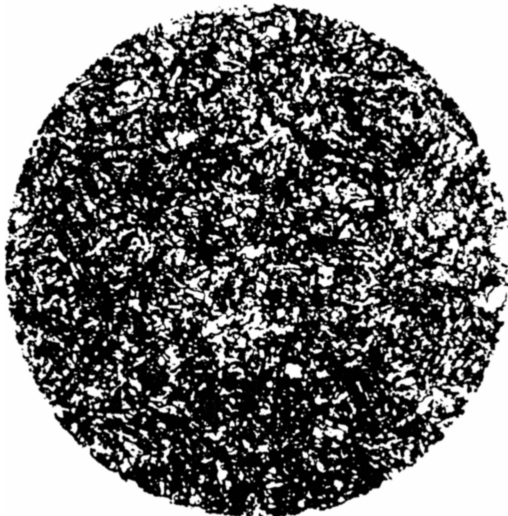
放大倍数：×500



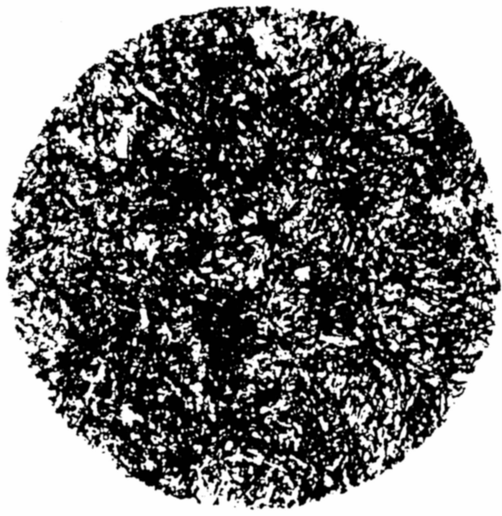
第1级



第2级



第3级



第4级

附　录　A

（规范性附录）

钢球硬度修正值

钢球硬度修正值按表 A. 1 的规定。

表　A. 1

钢球公称直径		钢球球面硬度测值　HRC																										
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
mm	in	修正值　HRC																										
4. 762	3/16	9. 0	8. 8	8. 6	8. 3	8. 1	7. 9	7. 7	7. 5	7. 3	7. 1	6. 9	6. 6	6. 4	6. 2	6. 0	5. 8	5. 6	5. 4	5. 2	4. 9	4. 7	4. 5	4. 3	4. 1			

（续）

钢球公称直径		钢球球面硬度测值 HRC																										
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
mm	in	修正值 HRC																										
5.556	7/32	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	4.9	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9		
5.953	15/64	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	4.9	4.7	4.5	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5	2.2	
6.35	1/4	6.7	6.5	6.3	6.1	5.9	5.7	5.5	5.4	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	
7.144	9/32	6.2	6.0	5.8	5.6	5.5	5.3	5.1	4.9	4.8	4.6	4.4	4.3	4.1	3.9	3.7	3.6	3.4	3.2	3.0	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	
7.938	5/16	5.7	5.6	5.4	5.2	5.1	4.9	4.7	4.6	4.4	4.3	4.1	3.9	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.6	2.5	2.3	2.1	2.0	1.8	1.7	
8.731	11/32	5.4	5.2	5.1	4.9	4.8	4.6	4.5	4.3	4.2	4.0	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4	2.3	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	
9.525	3/8	5.1	4.9	4.8	4.6	4.5	4.3	4.2	4.0	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	
10.319	13/32	4.8	4.7	4.5	4.4	4.2	4.1	4.0	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.0
11.112	7/16	4.6	4.5	4.3	4.2	4.0	3.9	3.8	3.6	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9
11.509	29/64	4.5	4.4	4.2	4.1	3.9	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	0.8
11.906	15/32	4.4	4.2	4.1	4.0	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8
12.303	31/64	4.3	4.1	4.0	3.9	3.7	3.6	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7
12.7	1/2	4.2	4.0	3.9	3.8	3.6	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.6
13.494	17/32	4.0	3.8	3.7	3.6	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5
14.288	9/16	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4
15.081	19/32	3.6	3.5	3.3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3
15.875	5/8	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2

附　录　B

（规范性附录）

滚子硬度修正值

滚子硬度修正值按表 B.1 的规定。

表　B.1

滚子公称直径 /mm	圆柱面或圆锥面硬度测值 HRC																										
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
	修正值 HRC																										
5	3.8	3.7	3.6	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	
5.5	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	
6	3.4	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	
6.5	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	
7	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	
7.5	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	
8	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	
9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	
10	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
11	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9
12	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8
13	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
14	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
15	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7

滚动轴承　低碳钢轴承零件
碳氮共渗热处理技术条件（JB/T 7363—2011）

1　范围

本标准规定了采用符合 GB/T 699—1999 规定的（08、10、15、20）优质碳素结构钢和符合 GB/T 3077—1999 规定的 15CrMo、20CrMo 合金结构钢制滚针轴承冲压外圈、保持架（以下简称轴承零件）碳氮共渗热处理后的硬化层深度、硬度、显微组织等技术要求和检验方法。

本标准适用于上述钢种或性能与之相当的优质碳素结构钢和合金结构钢制轴承零件碳氮共渗热处理（有效硬化层深度≤0.30mm）质量检验。总硬化层深度≤0.30mm 钢制轴承零件渗碳热处理质量检查可参考使用。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 699—1999　优质碳素结构钢

GB/T 3077—1999　合金结构钢

GB/T 4340.1—2009　金属材料　维氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（ISO 6507-1：1997，MOD）

GB/T 9451—2005　钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定

JB/T 7361—2007　滚动轴承　零件硬度试验方法

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1　总硬化层深度　gross hardening depth

从零件表面垂直测量到与基体金属间的显微硬度或显微组织没有明显变化的距离。

3.2　有效硬化层深度　effective hardening depth

从零件表面垂直测量到规定的某种显微组织边界或规定的显微硬度的硬化层距离。

4　技术要求

4.1　硬化层深度

经碳氮共渗热处理的轴承零件的有效或总硬化层深度按表 1 的规定。

表 1　有效或总硬化层深度　　（单位：mm）

产品类型	壁厚		有效或总硬化层深度	
	超过	到	碳素结构钢	合金结构钢
冲压外圈	—	0.5	0.07～0.18	
	0.5	1.0	0.08～0.25	
	1.0	—	0.15～0.30	
保持架	—	0.5	0.02～0.07	0.05～0.12
	0.5	1.0	0.02～0.15	0.07～0.15
	1.0	—	0.02～0.15	0.08～0.20

注：1. 有效硬化层深度以从表面硬度至 550HV 处为准。

2. 冲压外圈的硬化层深度以有效硬化层深度为准，保持架的硬化层深度以总硬化层深度为准。

4.2　硬度

经碳氮共渗热处理的轴承零件淬回火后的表面硬度和心部硬度应符合表 2 的规定。

表 2　表面硬度和心部硬度

产品类型	钢　　种	硬度　HV		
		淬火后	回火后	
		表面硬度　≥	表面硬度	心部硬度
冲压外圈	碳素结构钢	766	664 ~ 856	140 ~ 450
	合金结构钢	766	664 ~ 856	270 ~ 450
保持架	碳素结构钢	713	380 ~ 620	140 ~ 350
	合金结构钢	713	420 ~ 650	270 ~ 380

注：如用户对心部硬度无要求，制造厂可不检验心部硬度。

4.3　显微组织

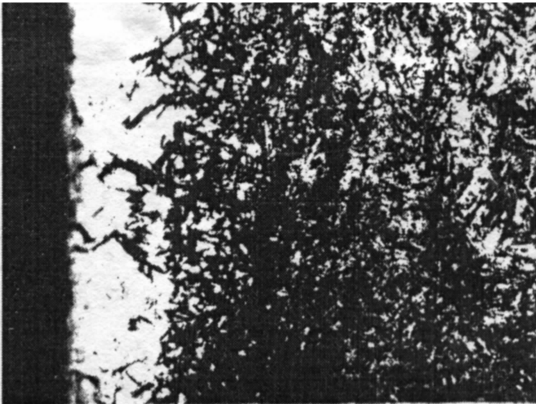
经碳氮共渗的轴承零件回火后表面层的显微组织应符合第一级别图的第 1 级和第 2 级，不允许有第 3 级和第 4 级的黑色组织存在。碳氮共渗层显微组织级别图的说明见附录 A。

第一级别图　碳氮共渗层显微组织

放大倍数：×400



第1级



第2级



第3级



第4级

4.4　其他

用户有特殊要求时，可与制造厂协商确定。

5　检验方法

5.1　检验试样

冲压外圈沿轴向或周向切取金相试样，保持架应在窗孔过梁处切取金相试样。试样的制备应符合 GB/T 4340.1—2009 的规定，可镶嵌或使用专用夹具保护周边，必要时，试样边缘用铜片或电镀金属加以保护。经磨制与抛光的试样边缘不应有倒角和卷边。

5.2　硬化层深度测定

硬化层深度的测定按 GB/T 9451—2005 的规定。有异议时，以显微硬度法为准。

5.3　硬度试验

5.3.1　试验方法

轴承零件表面硬度和心部硬度的试验方法按 GB/T 4340.1—2009 和 JB/T 7361—2007 的规定。

5.3.2　测试部位

5.3.2.1　表面硬度

端面平整的冲压外圈，可直接在端面测定；端面不平整的冲压外圈按 GB/T 4340.1—2009 的规定进行测定。如有异议时，以距工作面 0.02mm 处的显微硬度值为其表面硬度值。

保持架的表面硬度在保持架过梁处的表面测定。

5.3.2.2　心部硬度

冲压外圈的心部硬度在取样截面壁厚的 1/2 处测定。

保持架的心部硬度在保持架过梁截面的中心部位测定。

5.4　显微组织检查

碳氮共渗层显微组织用显微镜在 400 倍下采用比较法按第一级别图检查。浸蚀剂采用 2% ~ 4% 硝酸酒精溶液。

附　录　A

（规范性附录）

碳氮共渗层显微组织级别图说明

碳氮共渗层显微组织级别图（第一级别图）的说明见表 A.1。

表 A.1　碳氮共渗层显微组织级别图说明

级别	组织说明	备　注
第 1 级	少量碳氮化合物 + 含氮马氏体 + 少量残留奥氏体	此图片是深腐蚀，主要显示表层碳氮化合物 若最表层出现约 10μm 左右厚的 ε 相（白色富氮区）均为正常
第 2 级	含氮马氏体 + 少量残留奥氏体	
第 3 级	黑色组织 + 含氮马氏体 + 少量残留奥氏体	黑色组织是内氧化产生的氧化物，或在氧化物周围的奥氏体中温分解产物，其构成多为网络状，经抛光浸蚀可显示 此组织是由于碳氮浓度不合适，特别是氮含量过高所致，使零件表面致密度降低，韧性下降
第 4 级	较多黑色组织 + 含氮马氏体 + 少量残留奥氏体	

滚动轴承　碳钢轴承零件　热处理技术条件（JB/T 8566—2008）

1　范围

本标准规定了采用符合 GB/T 699—1999 中的45 钢或性能与之相当的优质碳素结构钢制造的轴承套圈锻造或锻造退火和淬、回火后的技术要求、检验方法与检验规则以及 10、15 优质碳素结构钢或含碳量和力学性能与其接近的碳钢制造的碳钢球的渗碳和淬、回火技术要求、检验方法与检验规则。

本标准适用于上述钢制轴承零件的热处理质量检验。对有特殊要求的轴承零件以及其他用途的碳钢球，应按产品图样的规定。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1—2004　金属洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）（ISO 6508-1：1999，MOD）

GB/T 231.1—2002　金属布氏硬度试验　第1部分：试验方法（eqv ISO 6506-1：1999）

GB/T 699—1999　优质碳素结构钢

JB/T 1255—2001　高碳铬轴承钢滚动轴承零件热处理技术条件

JB/T 7361—2007　滚动轴承　零件硬度试验方法

JB/T 7362—2007　滚动轴承　零件脱碳层深度测定法

JB/T 8881—2001　滚动轴承零件　渗碳热处理技术条件

3　套圈技术要求

3.1　锻造或退火

套圈锻造或锻造退火后的硬度不应大于241HBW，压痕直径不应小于3.9mm。

3.2　淬、回火

3.2.1　硬度

3.2.1.1　淬、回火后的硬度

套圈淬、回火后的硬度不应低于50HRC。

3.2.1.2　同一零件的硬度差

套圈外径不大于100mm，同一个零件硬度差不应大于2HRC；套圈外径大于100mm，同一零件硬度差不应大于3HRC。

3.2.2　显微组织

轴承套圈淬、回火后显微组织应为马氏体+少量残留奥氏体。淬、回火后显微组织的马氏体粗细程度按图1评定：第1级~第3级为合格组织，大于第3级为不合格组织。在硬度合格的情况下，屈氏体组织不予控制。

3.2.3　断口

轴承套圈淬、回火后的断口应为带编褶的浅灰色瓷状断口，不应有平齐的灰白色粗大颗粒状结晶过热断口和带编褶的纤维状暗灰色的欠热断口。

3.2.4　裂纹

套圈淬、回火后不应有裂纹。

3.2.5　脱碳层和软点

套圈淬、回火后的脱碳层深度不应大于单边最小加工留量的三分之二，其深度按 JB/T 1255—2001 中附录 E 的规定。成品零件表面不应有脱碳和软点。

第一级别图　淬、回火后显微组织

放大倍数：×500



第1级



第2级



第3级

3.2.6　变形

套圈淬、回火后允许的变形量应按 JB/T 1255—2001 中附录 F 的规定。

4　碳钢球渗碳淬、回火技术要求

4.1　表面含碳量

渗碳后的成品碳钢球的表面含碳量（质量分数）应为 0.8% ~1.05%，当有特殊要求时，其表面含碳量也可另行规定。

4.2 硬度

碳钢球渗碳淬火后的表面硬度不应低于62HRC，回火后的表面硬度不应低于60HRC。

碳钢球渗碳淬回火后的心部硬度不应低于20HRC。

成品碳钢球同一粒球的表面硬度差不应大于2HRC。

4.3 有效硬化层深度

成品碳钢球的有效硬化层深度应符合表1的规定。

表1 成品碳钢球有效硬化层深度 （单位：mm）

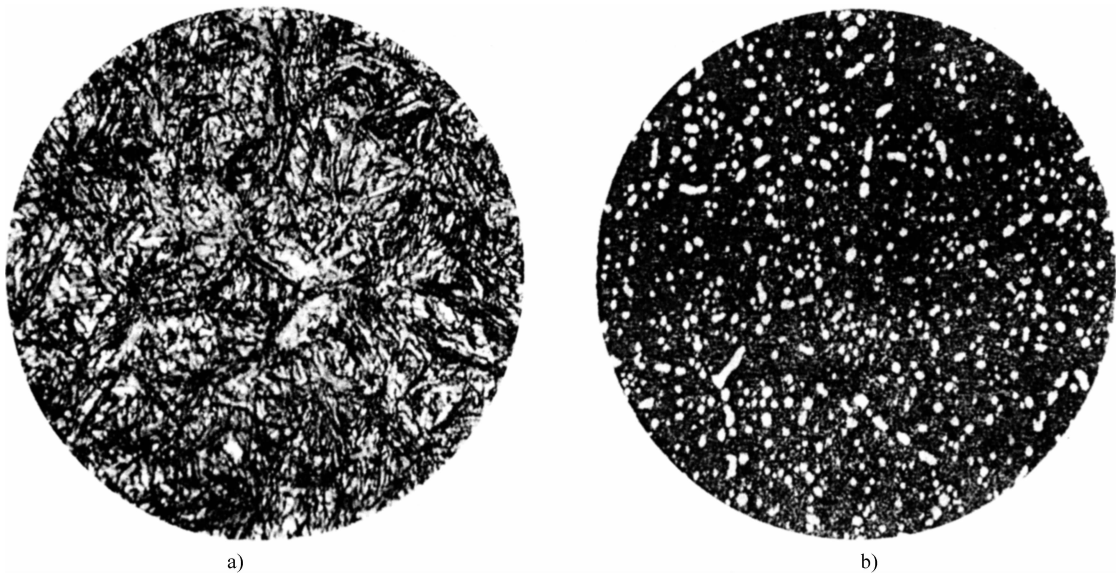
碳钢球公称直径 D_w		有效硬化层最小深度	碳钢球公称直径 D_w		有效硬化层最小深度
超过	到		超过	到	
2.000	3.000	0.5	9.000	11.000	1.4
3.000	4.000	0.6	11.000	12.000	1.7
4.000	5.000	0.8	12.000	14.000	1.8
5.000	6.000	0.9	14.000	19.000	1.9
6.000	9.000	1.1	19.000	20.000	2.0

4.4 显微组织

碳钢球渗碳淬回火后的表面层显微组织应由马氏体+残留奥氏体+碳化物组成，其马氏体组织按第二级别图评定，不应大于图2a的规定。渗碳层的网状碳化物按第二级别图评定，不应大于图2b的规定。碳钢球表面硬度合格时，允许屈氏体存在，心部组织不予控制。

第二级别图 渗碳淬、回火后显微组织

放大倍数：×500



a) b)

图 2

a）碳钢球表层马氏体组织 b）碳钢球表层网状碳化物组织

4.5 裂纹

碳钢球渗碳及淬、回火后不应有裂纹。

4.6 脱碳层和软点

热处理后碳钢球表面脱碳层深度不应大于单边最小加工留量的三分之二。成品碳钢球表面不应

有脱碳和软点。

4.7　压碎载荷

渗碳淬、回火后及成品碳钢球的压碎载荷值不应小于附录 A 的规定。

5　检验方法与检验规则

检验方法与检验规则按表 2 的规定。

表 2　检验方法及规则

检验项目	检验方法及规则
表面含碳量	渗碳试样剥层后用化学分析法或渗碳试样用直读光谱法分析，也可由生产厂与用户协商解决。有异议时，以化学分析法为准
硬度	硬度检查可根据被测零件的硬度值高低分别选用布氏硬度计或洛布氏硬度计，按 GB/T 231.1—2002、GB/T 230.1—2004 及 JB/T 7361—2007 的规定进行。钢球直径不大于 15.875mm，所测曲面硬度应按 JB/T 1255—2001 中附录 D 的规定加上修正值；直径小于 4.763mm 碳钢球以压碎载荷值为准
显微组织	显微组织采用 2% ~4% 硝酸酒精溶液浸蚀，用金相显微镜在 500 倍下评定，亦可在 450 倍 ~600 倍下进行，但应考虑放大倍数的影响。碳钢套圈淬、回火组织评定以试样纵断面为准
表面脱碳和软点	脱碳层深度和软点的检查按 JB/T 7362—2007 和 JB/T 1255—2001 中附录 C 的规定执行
套圈变形量	用百分表、内径仪、外径仪及平面度仪检查
碳钢球压碎载荷	碳钢球压碎载荷试验规程按 JB/T 1255—2001 中附录 A 的规定
碳钢球有效渗碳硬化层深度	成品碳钢球有效渗碳硬化层深度的检验按 JB/T 8881—2001 附录 A 的规定。当有异议时，以硬度法为准
裂纹	裂纹检查可采用 JB/T 1255—2001 中附录 B 和附录 C 规定的方法。当有异议时，以热酸洗方法为准
套圈断口	在外力作用下使之断裂，用肉眼观察断口

附　录　A

（规范性附录）

渗碳淬回火后及成品碳钢球的压碎载荷值

直径为 $\phi3 \sim \phi20$mm 的渗碳钢球淬回火后及成品的压碎载荷值按表 A.1 的规定。

表　A.1

球公称直径 D_w/mm	对应的英制尺寸（参考）/in	压碎载荷/N	球公称直径 D_w/mm	对应的英制尺寸（参考）/in	压碎载荷/N
3		3820	5		10500
3.175	1/8	4310	5.159	13/64	11250
3.5		5250	5.5		12770
3.572	9/64	5500	5.556	7/32	13100
3.969	5/32	6760	5.953	15/64	14780
4		6860	6		15200
4.366	11/64	7740	6.35	1/4	17100
4.5		8620	6.5		17870
4.763	3/16	9600	6.747	17/64	18030

（续）

球公称直径 D_w/mm	对应的英制尺寸（参考）/in	压碎载荷/N	球公称直径 D_w/mm	对应的英制尺寸（参考）/in	压碎载荷/N
7		18200	12		43120
7.144	9/32	19800	12.303	31/64	44700
7.5		20780	12.5		45800
7.541	19/64	21070	12.7	1/2	46900
7.938	5/16	23000	13		48300
8		23400	13.494	17/32	49700
8.334	21/64	24160	14		52500
8.5		24930	14.288	9/16	53900
8.731	11/32	25700	15		59700
9		26870	15.081	19/32	60700
9.128	23/64	28050	15.875	5/8	65180
9.5		29220	16		66300
9.525	3/8	30400	16.669	21/32	72070
9.922	25/64	32350	17		74960
10		32830	17.462	11/16	79290
10.319	13/32	34300	18		83620
10.5		35320	18.256	23/32	85870
11		36350	19		92280
11.112	7/16	38400	19.05	3/4	92720
11.5		40200	19.844	25/32	99200
11.509	29/64	40500	20		100940
11.906	15/32	42600			

滚动轴承　零件渗碳热处理　技术条件（JB/T 8881—2011）

1　范围

本标准规定了符合 GB/T 3203 规定的 G20CrMo（A）、G20CrNiMo（A）、G20CrNi2Mo（A）、G20Cr2Ni4（A）、G10CrNi3Mo（A）、G20Cr2Mn2Mo（A）等渗碳轴承钢制滚动轴承零件渗碳前预备热处理、渗碳一次淬、回火、高温回火及二次淬、回火后的技术要求以及平均晶粒度、淬硬层深度、硬度、显微组织、裂纹等的检验方法。

本标准适用于上述渗碳轴承钢制滚动轴承零件的渗碳热处理质量检验，也适用于低碳合金钢制滚动轴承零件的渗碳热处理质量检验。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 230.1　金属材料　洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）

GB/T 231.1　金属材料　布氏硬度试验　第1部分：试验方法
GB/T 3203　渗碳轴承钢技术条件
GB/T 6394　金属平均晶粒度测定法
GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核
GB/T 24606　滚动轴承　无损检测　磁粉检测
JB/T 1255—2001　高碳铬轴承钢滚动轴承零件热处理技术条件
JB/T 7361　滚动轴承　零件硬度试验方法

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1　淬硬层深度（渗碳淬火硬化层）　case-hardened depth（of a carburized and hardened case）

从零件表面到维氏硬度值为550 HV1 处的垂直距离。

［GB/T 9450—2005，第3章］

4　技术要求

4.1　渗碳前预备热处理技术要求

4.1.1　轴承零件渗碳前应预备热处理，经热处理后的硬度不应大于229 HBW（压痕直径不应小于4.0mm）；G20Cr2Ni4（A）制零件热处理后硬度不应大于241 HBW（压痕直径不应小于3.9mm）。

4.1.2　渗碳前轴承零件的平均晶粒度为符合GB/T 6394 规定的5 级或更细的晶粒度级别。

4.2　渗碳热处理技术要求

4.2.1　淬硬层深度

经渗碳热处理后的成品零件淬硬层深度应符合表1 的规定。

表1　淬硬层深度　（单位：mm）

轴承零件的有效壁厚或有效直径		淬硬层深度	轴承零件的有效壁厚或有效直径		淬硬层深度
超过	到		超过	到	
—	8	0.7～1.2	20	50	≥2.5
8	14	1.0～1.6	50	80	≥3.0
14	20	1.5～2.3	80	—	≥3.5

注：1. 同型号轴承内、外圈的淬硬层深度要求应一致，且以外圈有效壁厚为准。
2. 轴承零件的有效壁厚或有效直径按JB/T 1255—2001 中附录G 的规定。

4.2.2　硬度

4.2.2.1　轴承零件经渗碳一次淬、回火或二次淬、回火后的表面硬度和心部硬度应符合表2 的规定。

表2　表面和心部硬度

钢　号	淬硬层深度/mm	表面硬度HRC		心部硬度HRC
		渗碳一次淬火或二次淬火后	回火后	
G20CrMo（A） G20CrNiMo（A）	<2.5	61～66	59～64	30～45
G20CrNi2Mo（A） G20Cr2Ni49（A）				32～48
G20Cr2Ni4（A） G10CrNi3Mo（A） G20Cr2Mn2Mo（A）	≥2.5	≥61	58～63	32～48

4.2.2.2 当淬硬层深度<2.5mm 时，经渗碳热处理的同一零件其表面硬度差不应大于 2HRC。

4.2.3 表面含碳量

经渗碳热处理后的成品零件淬硬层深度<2.5mm 时，零件表面的含碳量应为 0.80% ~1.05%；当淬硬层深度≥2.5mm 时，零件表面含碳量不应低于 0.80%。若有特殊要求，在表面硬度合格的情况下可另行规定。

4.2.4 碳化物

4.2.4.1 经渗碳热处理后的零件渗碳表层的粗大碳化物深度不能大于单边最小加工余量的 2/3。

4.2.4.2 经渗碳热处理后成品零件工作表面的粗大碳化物应符合第一级别图规定的第 1 级和第 2 级；当淬硬层深度≥2.5mm 时，其工作表面的粗大碳化物应符合第一级别图规定的第 1 级 ~ 第 3 级。

4.2.4.3 轴承零件渗碳层的网状碳化物应符合第二级别图规定的第 1 级 ~ 第 3 级。

4.2.5 显微组织

4.2.5.1 渗碳一次淬火后高温回火的渗碳层显微组织

轴承零件经渗碳一次淬火后高温回火的渗碳层显微组织应为细小、均匀分布的珠光体类型组织，同时允许少量残留奥氏体和一定数量断续状细小针状碳化物存在，应符合第三级别图规定的第 1 级 ~ 第 3 级。渗碳淬火后不进行高温回火的零件，可不做此要求。

4.2.5.2 渗碳一次淬、回火或二次淬、回火后的表层显微组织

轴承零件经渗碳一次淬、回火后的表层显微组织应符合第四级别图规定的第 2 级 ~ 第 4 级。

轴承零件经渗碳二次淬、回火后的表层显微组织应符合第五级别图规定的第 1 级 ~ 第 3 级；对于 G20Cr2Ni4（A）及淬硬层深度≥2.5mm 的轴承零件，允许一定程度的细针状马氏体和少量断续状的残余针状碳化物存在，其显微组织应符合第五级别图规定的第 1 级 ~ 第 4 级。

4.2.5.3 心部显微组织

经渗碳淬、回火后的轴承零件心部显微组织应为板条状马氏体、贝氏体并允许少量铁素体存在，应符合第六级别图规定的第 1 级 ~ 第 3 级；当淬硬层深度≥2.5mm 时，对心部显微组织可不做要求。

4.2.6 脱碳及软点

经渗碳热处理后的轴承零件脱碳层深度或表面软点不应超过单边加工余量的 2/3，成品零件不允许有脱碳或软点。

4.2.7 裂纹

经渗碳热处理后的轴承零件不允许有裂纹。

4.2.8 轴承套圈变形量

经渗碳热处理后的轴承套圈允许的变形量应符合表 3 的规定。

表 3 轴承套圈渗碳热处理后允许的变形量 （单位：mm）

淬硬层深度<2.5			淬硬层深度≥2.5					
套圈外径 D		直径变动量 V_{Dsp} max.	外圈公称外径 D 或内圈公称内径 d		直径变动量 V_{Dsp} 或 V_{dsp} max.		平面度 max.	
超过	到		超过	到	外圈	内圈	外圈	内圈
30	50	0.12	—	400	—	0.50	—	0.30
50	80	0.15	400	450	0.60	0.60	0.20	0.40
80	120	0.20	450	500	0.70	0.70	0.35	0.50
120	180	0.25	500	600	0.90	0.90	0.40	0.60
180	300	0.30	600	700	1.00	1.00	0.50	0.70
300	400	0.35	700	800	1.20	1.10	0.60	0.80

（续）

淬硬层深度＜2.5			淬硬层深度≥2.5					
套圈外径 D		直径变动量 V_{Dsp} max.	外圈公称外径 D 或内圈公称内径 d		直径变动量 V_{Dsp} 或 V_{dsp} max.		平面度 max.	
超过	到		超过	到	外圈	内圈	外圈	内圈
—	—	—	800	900	1.30	1.20	0.70	0.80
—	—	—	900	1000	1.50	1.30	0.80	0.90
—	—	—	1000	1100	1.60	1.50	1.00	1.00
—	—	—	1100	1200	1.80	1.60	1.10	1.20
—	—	—	1200	—	2.00	1.60	1.20	1.20

注：1. 当套圈外径＞400mm 时，滚道工作表面的单边加工余量不应少于 0.5mm 且成品零件的淬硬层深度应符合表 2 的规定。

2. 薄壁套圈的变形量由制造厂自行确定。

4.2.9　回火稳定性

当淬硬层深度＜2.5mm 时，经回火稳定性试验的渗碳轴承零件相应点的硬度差不应大于 1HRC。

5　检验方法

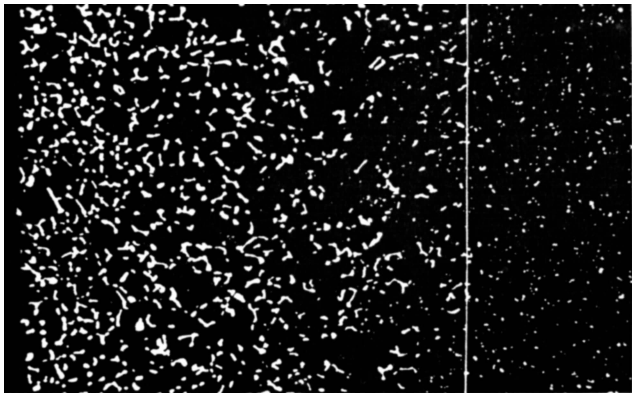
检验方法按表 4 的规定。

表 4　检验方法

检验项目	检 验 方 法
平均晶粒度	按 GB/T 6394 的规定进行测定
淬硬层深度	按附录 A 规定的硬度法、宏观断口法、显微组织分析法中任一种方法进行测定。有异议时，以硬度法为准
硬度	a）硬度试验可根据被测零件的硬度值及尺寸分别选用布氏、洛氏硬度计，试验方法按 GB/T 230.1 、GB/T 231.1 和 JB/T 7361 的规定 b）心部硬度的测定部位：圆锥滚子轴承套圈以纵断面上距套圈大端面 1/3 宽度处、圆柱滚子轴承套圈以纵断面或试样中心的测量值为准；圆柱滚子以纵断面中心线、圆锥滚子以距滚子大端面 1/3 长度处横断面中心的测量值为准；大型零件以试样中心的测量值为准
表面含碳量	试样剥层后采用化学分析法或用直读光谱法分析。有异议时，以化学分析法为准
碳化物	a)渗碳表层的粗大碳化物深度：试样采用 4% 硝酸酒精溶液深腐蚀，用金相显微镜在 100 倍下按粗大碳化物深度测量图的规定测定 b)渗碳表层粗大碳化物及网状碳化物：试样采用 4% 硝酸酒精溶液深腐蚀，用金相显微镜在 500 倍下评定，以去除加工余量后（或成品表面）的第一个视场为准。粗大碳化物应根据其大小、数量和分布，按第一级别图评定；网状碳化物应根据碳化物网的大小和封闭程度按第二级别图评定
显微组织	试样采用 4% 硝酸酒精溶液浸蚀，用金相显微镜在 500 倍下评定 a）渗碳一次淬火后高温回火的渗碳层显微组织：根据珠光体类型组织的形态，针状碳化物的大小、数量及残留奥氏体的数量按第三级别图评定 b）渗碳表层显微组织：以去除加工余量后（或成品表面）的第一个视场为准，根据马氏体的粗细程度和残留奥氏体的数量，渗碳一次淬、回火零件的表层显微组织按第四级别图评定；渗碳二次淬、回火零件的表层显微组织按第五级别图评定 c）心部显微组织：以测量心部硬度附近的显微组织为准，根据铁素体的数量和分布按第六级别图评定
脱碳和软点	按 JB/T 1255—2001 中附录 C 规定的酸洗方法进行检验
裂纹	按 GB/T 24606 的规定进行检测。特大型轴承套圈也可采用附录 B 规定的或其他能显示裂纹的方法进行检测
套圈变形	小尺寸套圈用百分表、内径仪、外径仪及平面度仪进行检查；大尺寸套圈用百分尺、桥尺、塞尺进行检查
回火稳定性	将被测试样或零件按原回火工艺温度回火 3～5h 后，检查回火前后相应点的硬度差

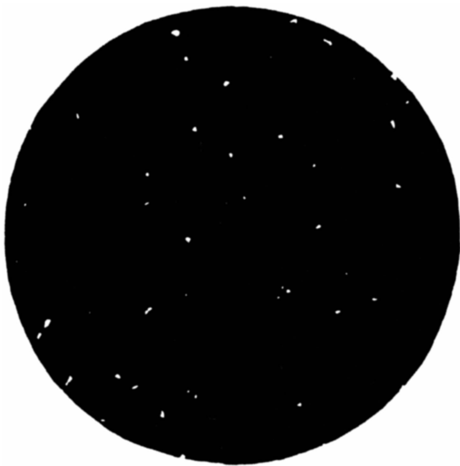
渗碳表层粗大碳化物深度测量图

放大倍数：×100



第一级别图　渗碳表层粗大碳化物

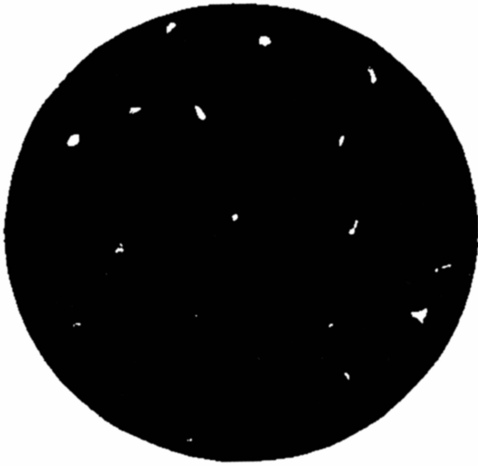
放大倍数：×500



第1级



第2级



第3级

第二级别图　渗碳层网状碳化物

放大倍数：×500



第1级



第2级



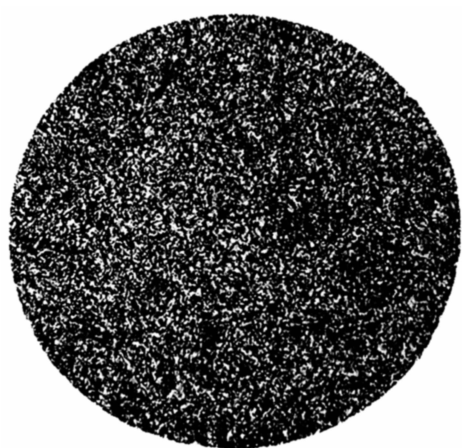
第3级



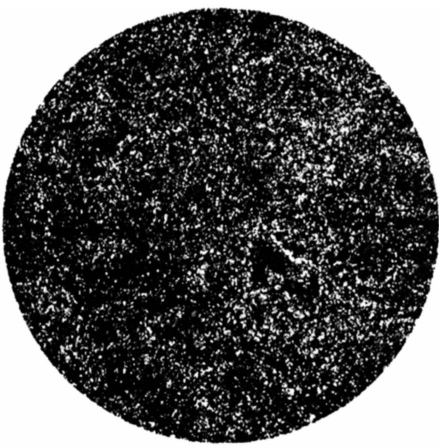
第4级

第三级别图 渗碳一次淬火后高温回火的渗碳层显微组织

放大倍数：×500



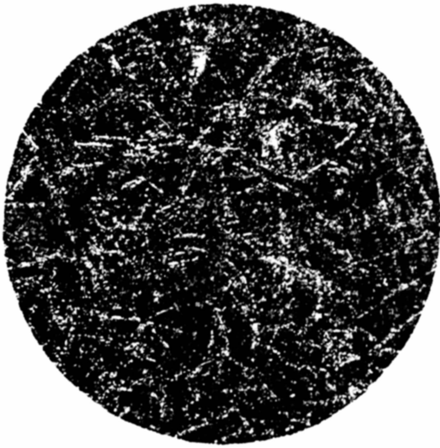
第1级



第2级

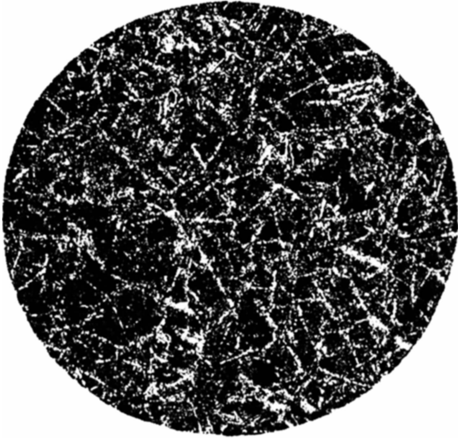


淬硬层深度<2.5mm



淬硬层深度≥2.5mm

第3级



第4级



第5级

第四级别图　渗碳一次淬、回火后的渗碳表层显微组织

放大倍数：×500



第1级



第2级



第3级



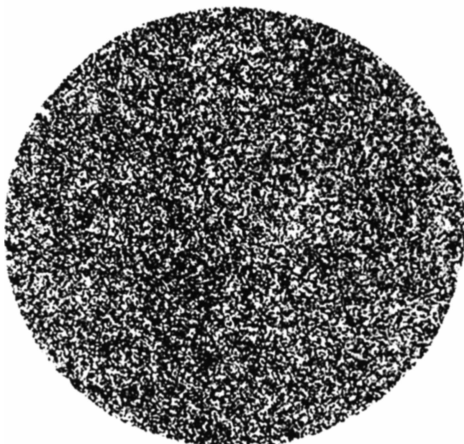
第4级



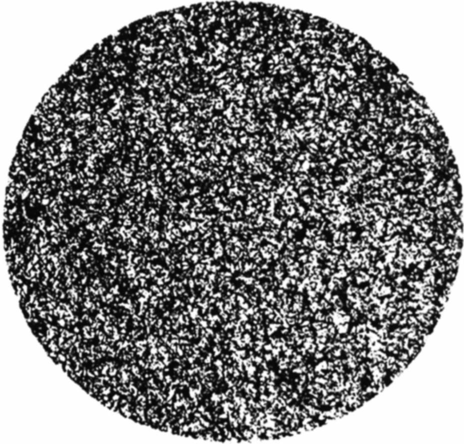
第5级

第五级别图 渗碳二次淬、回火后的渗碳表层显微组织

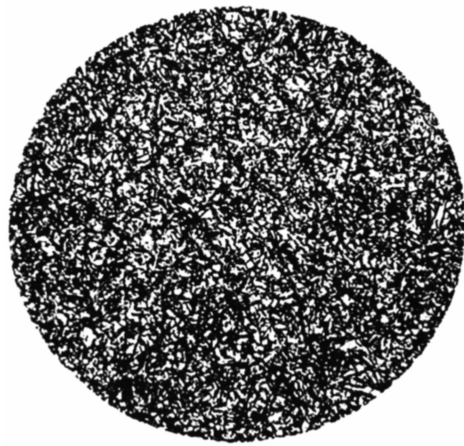
放大倍数：×500



第1级



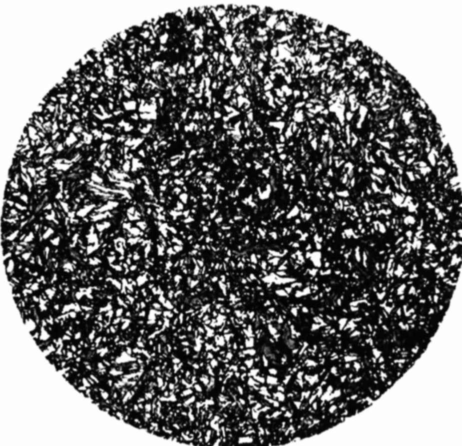
第2级



第3级



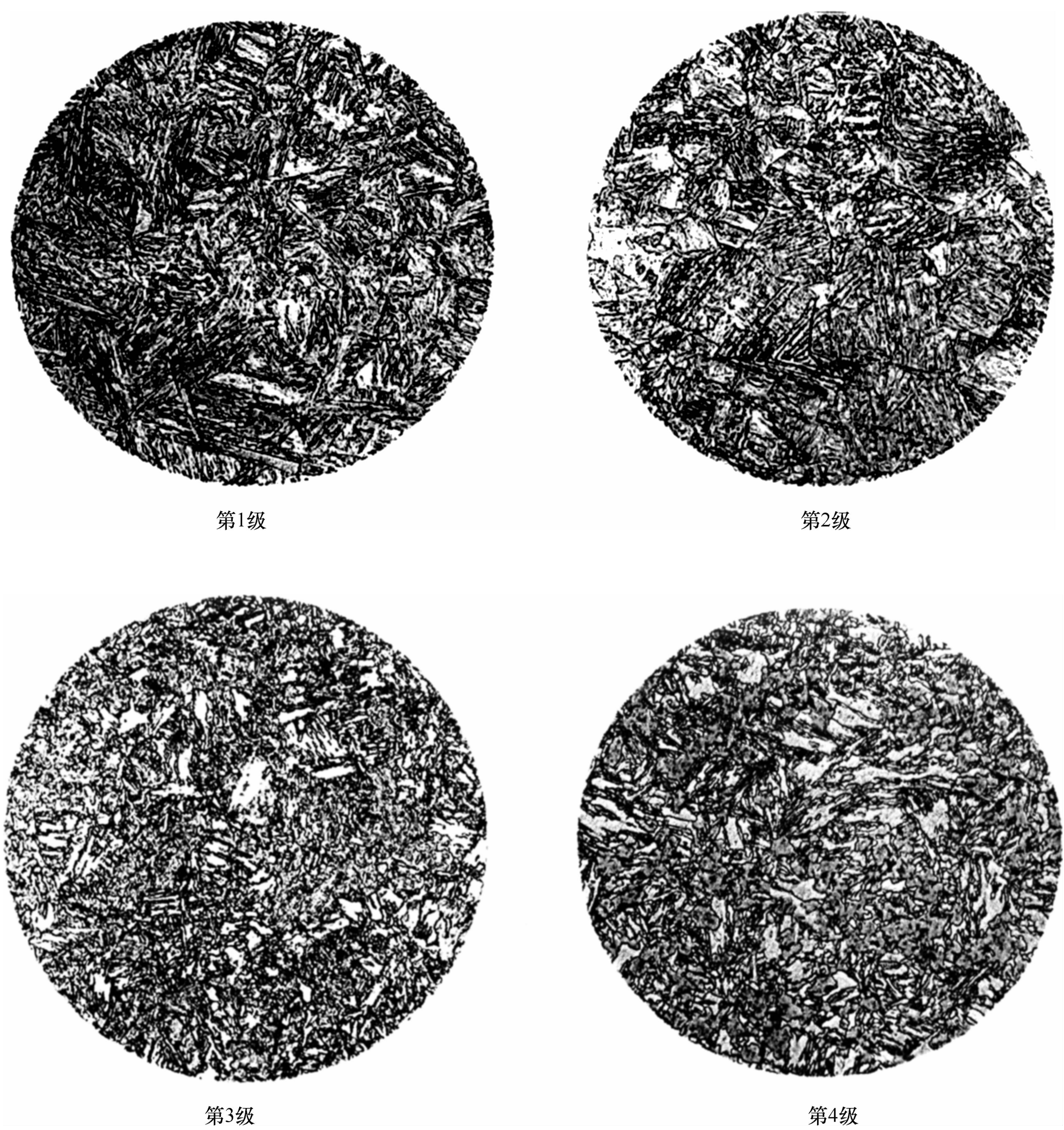
第4级



第5级

第六级别图　心部显微组织

放大倍数：×500



第1级　第2级

第3级　第4级

附　录　A

（规范性附录）

淬硬层深度的测量方法

A.1　硬度法

经渗碳热处理的成品零件或试样（去除加工余量），当淬硬层深度 <2.5mm 时，按 GB/T 9450

的规定测量其淬硬层深度；当淬硬层深度≥2.5mm 时，用洛氏硬度计按 GB/T 230.1 的规定自试样横断面边缘起，每隔 2mm 逐点测量洛氏硬度值（HRC），再用光学仪器放大 20 倍以上测量试样表面边缘至 50 HRC 处压痕中心的垂直距离，即为淬硬层深度，同时表面至硬度值为 58 HRC 处的距离应占淬硬层深度的 40% 以上。

A.2　宏观断口法

将渗碳试样从渗碳炉中取出后直接淬火，然后将其压断。断口上渗碳层部分呈银白色瓷状，未渗碳部分呈灰色纤维状。也可将试样断口磨平、抛光后，用 4% 硝酸酒精浸蚀，渗碳层呈暗黑色，未渗碳部分呈灰色。

A.3　显微组织分析法

将渗碳试样缓冷至室温后制成金相试样，用 4% 硝酸酒精浸蚀，在 100 倍光学显微镜下观察。在平衡状态下组织的过共析层加共析层，再加上 1/2 过渡层，即为渗碳层深度。

附　录　B

（规范性附录）

着色渗透检测规程

B.1　范围

本规程适用于特大型轴承套圈滚道表面的着色渗透检测，检查出的缺陷是轴承零件表面的开口缺陷。

B.2　缺陷显示及判定

B.2.1　显示痕迹

B.2.1.1　显示痕迹长/宽比≥3 的缺陷称为线缺陷（或称为条状缺陷）。

B.2.1.2　显示痕迹长/宽比 <3 的缺陷称为圆状缺陷（或称为椭圆状缺陷）。

B.2.1.3　因机械加工等原因造成的表面痕迹显示称为伪缺陷显示（或称为无关显示），除此以外的显示均属缺陷显示（或称相关显示）。对于伪缺陷显示，需经清洗后重新检验、确认。

B.2.2　缺陷的判定

B.2.2.1　主要尺寸≥0.5mm 的显示为缺陷显示（或相关显示）。

B.2.2.2　特大型轴承套圈滚道表面不允许存在如下类型的缺陷（对有特殊质量要求的零件，可另行规定）：

a）长度≥1.5mm 的单个线状缺陷；

b）直径≥1.5mm 的单个圆状缺陷（或长轴尺寸≥1.5mm 的椭圆状缺陷）；

c）单个圆状缺陷的尺寸 <1.5mm，但在一直线上或相邻有四个或更多个圆状缺陷同时存在，且其边缘间距≤2mm。

B.3　检测用材料及灵敏度校验

B.3.1　检测用材料及其技术要求

B.3.1.1　着色探伤剂由着色渗透液、清洗液和显像液组成。

B.3.1.2　渗透液和显像液的色泽必须有明显的对比度。

B.3.1.3　轴承产品用的着色渗透液、清洗液和显像液应与 Cr 离子无络合作用或其他腐蚀作用。

B.3.1.4　轴承产品使用的着色探伤剂必须是同种型号的配套产品，可使用 HD 通用型着色探伤剂，HD-RS 着色渗透液、HD-BX 清洗液和 HD-EV 显像液。在确保本规程检测灵敏度的前提下，亦可采用其他型号的着色探伤剂配套产品。

B.3.2　检测灵敏度校验

B.3.2.1　每次检测时，着色探伤剂必须进行灵敏度校验，如果发现着色探伤剂灵敏度有明显下降，应及时停止使用。

B.3.2.2　检测用灵敏校验试块应采用HD-ST不锈钢试块和铝合金试块，试块每次使用后，必须在清洁的溶剂中进行清洗，并经干燥处理后妥善保养。

B.4　工件检测表面要求

B.4.1　在工件被检表面进行着色检测前，必须将影响渗透液渗入缺陷的物质或影响着色检测灵敏度的物质清除干净（如锈蚀、油污、涂料和防锈液等）。

B.4.2　着色检测的零件的表面粗糙度为 $Ra1.2\mu m$。

B.5　操作方法

B.5.1　施加渗透液

被检工件表面符合检测要求后，即可施加着色渗透液，施加渗透液过程如下：

a）施加着色渗透液用毛刷涂布，也可采用喷罐喷涂。

b）渗透液的渗透时间一般为15min。如果要检验细微裂纹，渗透时间可延长至30min。在规定渗透时间内，应每隔若干分钟再重新涂布渗透液，时间间隔以涂布的渗透液不干涸为准。

B.5.2　清洗

被检工件表面多余的渗透液需用清洗液清除，清洗时应用清洁且已吮吸清洗液的白布（或不带毛头的其他织物）进行擦拭，最后用清洁的软纸或白布（或不带毛头的其他织物）擦干净。

B.5.3　显像

将被检工件表面清洗后，即可施加显像液，应注意：

a）施加显像液采用喷罐喷涂，喷涂时应控制距离（300mm左右为宜）和连续喷涂时间，保证喷涂后的显像液为均匀的薄层；

b）使用喷罐喷涂显像液时，显像液层次切忌过多过厚；

c）使用喷罐喷涂显像液时，应注意风向影响喷涂质量。

B.6　检验

缺陷痕迹应在自然光或白光照度（500lx）下用目视观察，缺陷检验方法如下：

a）缺陷观察应在喷涂显像液后30min内完成。在显像液喷涂后的5 ~10min内一般大缺陷已经显示，在显像液喷涂后的20~30min内一般小缺陷均被显示。上述观察所发现的缺陷痕迹需用红色特种铅笔圈出以标示。

b）零件被检测表面面积过大时，可按具体情况分段（或分区）进行渗透检测，段（或区）之间应有20mm左右的重叠段（或区）。

滚动轴承　钨系高温轴承钢零件　热处理技术条件（JB/T 11087—2011）

1　范围

本标准规定了W9Cr4V2Mo、W18Cr4V等钨系高温轴承钢制滚动轴承套圈和滚动体（以下简称零件）的退火和淬、回火后的技术要求和检验方法。

本标准适用于上述材料制造的轴承零件热处理质量检验。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 230.1—2009　金属材料　洛氏硬度试验　第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）（ISO 6508-1：2005，MOD）

GB/T 231.1—2009　金属材料　布氏硬度试验　第1部分：试验方法（ISO 6506-1：2005，MOD）

GB/T 4340.1—2009　金属材料　维氏硬度试验　第1部分：试验方法（ISO 6507-1：1997，MOD）

GB/T 24606—2009　滚动轴承　无损检测　磁粉检测

JB/T 1255—2001　高碳铬轴承钢滚动轴承零件热处理技术条件

JB/T 2850—2007　滚动轴承　Cr4Mo4V高温轴承钢零件　热处理技术条件

JB/T 7361—2007　滚动轴承　零件硬度试验方法

JB/T 7362—2007　滚动轴承　零件脱碳层深度测定法

3　技术要求

3.1　轴承零件退火后的技术要求

3.1.1　硬度

轴承零件退火后的硬度为197～255HBW（压痕直径为4.3～3.8mm）。

3.1.2　脱碳层

轴承零件退火后的脱碳层深度不应大于单边最小加工余量的2/3。

3.2　轴承零件淬、回火后的技术要求

3.2.1　硬度

3.2.1.1　淬、回火后的硬度

轴承零件淬火后硬度不应低于63HRC，回火后的硬度应为61～65HRC。

3.2.1.2　同一零件的硬度差

淬、回火后同一零件的硬度差为：

a）外径≤100mm的套圈和公称（有效）直径≤22mm的钢球（滚子），同一零件的硬度差应≤1HRC；

b）外径＞100mm的套圈和公称（有效）直径＞22mm的钢球（滚子），同一零件的硬度差应≤2HRC；

c）公称直径≤1.588mm的钢球，可不要求同一零件的硬度差。

注：滚子的有效直径参见JB/T 1255—2001附录G。

3.2.2　淬火组织晶粒度

轴承零件淬火组织晶粒度应符合第一级别图的第1级～第4级：不允许有超过第4级的过热组织存在。

3.2.3　显微组织

轴承零件淬、回火后显微组织由马氏体、一次碳化物、二次碳化物和残留奥氏体组成。淬、回火后的显微组织应符合第二级别图的第1级～第4级，不允许有超过第4级的过热组织存在。

3.2.4　回火稳定性

轴承零件淬、回火后需进行回火稳定性检查，相应点的最大硬度差不应超过1HRC。

3.2.5　裂纹

轴承零件淬、回火后不应有裂纹。

3.2.6　脱碳层

轴承零件淬、回火后的脱碳层深度按表1的规定。

表 1　轴承零件淬、回火后的脱碳层深度　（单位：mm）

套圈			钢球			滚子		
公称直径①		脱碳层深度	公称直径		脱碳层深度	有效直径		脱碳层深度
超过	到	max	超过	到	max	超过	到	max
—	30	0.03	—	12.7	0.03	—	20	0.03
30	80	0.05	12.7	25.4	0.06	20	30	0.05
80	120	0.07	25.4	50.8	0.08	30	50	0.08
120	180	0.09				50	80	0.10
180	250	0.11						
250	—	0.14						

①　指套圈的公称内径或公称外径。

3.2.7　钢球压碎载荷

公称直径为 4～30.162mm 的钢球淬、回火后应进行压碎载荷试验，压碎载荷值不应低于附录 A 的规定。

3.2.8　套圈变形量

轴承套圈淬、回火的变形量应符合 JB/T 1255—2001 附录 F 的规定。

3.2.9　断口

对轴承零件淬、回火后热处理质量有异议时，可进行断口检查。轴承零件淬、回火后其断口应呈细瓷状或细晶粒状，不允许有萘状断口存在。

3.2.10　其他

用户有其他要求时，可与制造厂协商确定。

4　检验方法

检验方法按表 2 的规定。

表 2　检验方法

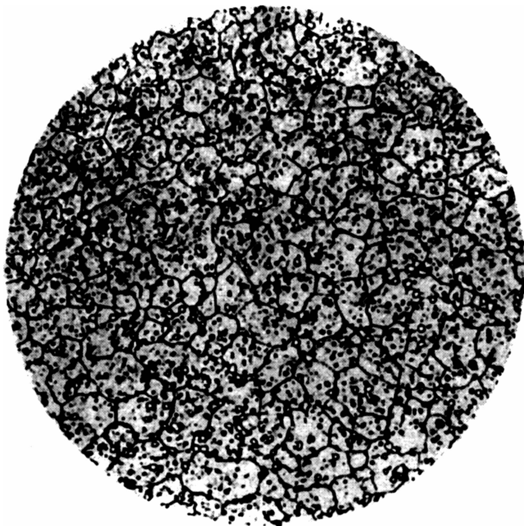
检验项目	检验方法
硬　度	硬度试验可根据被测零件的硬度值及尺寸分别选用洛氏、布氏、维氏或里氏硬度计，试验方法按 GB/T 230.1—2009、GB/T 231.1—2009、GB/T 4340.1—2009 及 JB/T 7361—2007 的规定 公称直径≥4.762mm 的钢球，其硬度在球面上测定，有效直径≥5mm 的滚子，其硬度在圆柱或圆锥面上测定；公称直径＜4.762mm 的钢球和有效直径＜5mm 的滚子在磨制平面上测定硬度；球面滚子硬度在端面测定 公称直径为 4.762～15.875mm 的钢球和测点处直径为 5～15mm 的滚子，其硬度值为测值与 JB/T 2850—2007 附录 A 和附录 B 规定的硬度修正值之和；其他以实测值为准
晶粒度和显微组织	淬火组织晶粒度与淬、回火后的显微组织用金相显微镜在 500 倍下采用比较法按第一级别图和第二级别图检验，亦允许在 450～600 倍下检验，但应考虑放大倍数的影响 淬回火显微组织主要按马氏体组织的形态、粗细和碳化物的溶解程度进行检验 浸蚀剂为淬火后显微组织用 5%～10% 三氯化铁水溶液或 10%～20% 硝酸酒精溶液；回火后显微组织用 4% 硝酸酒精溶液或盐酸 5mL＋苦味酸 1g＋酒精 100mL 的混合液；回火后晶粒度检查用 10mL 盐酸＋3mL 硝酸＋80mL 甲醇的混合液
裂　纹	轴承零件淬回火及磨削裂纹可采用附录 B 规定的酸洗方法检验，也可按 GB/T 24606—2009 的规定进行磁粉检测。有异议时，以热酸洗方法为准
脱碳层	脱碳层深度的测定按 JB/T 7362—2007 的规定。轴承零件的脱碳层应在最深处测定，热镦钢球退火后的脱碳层应在垂直于环带的截面上测定

（续）

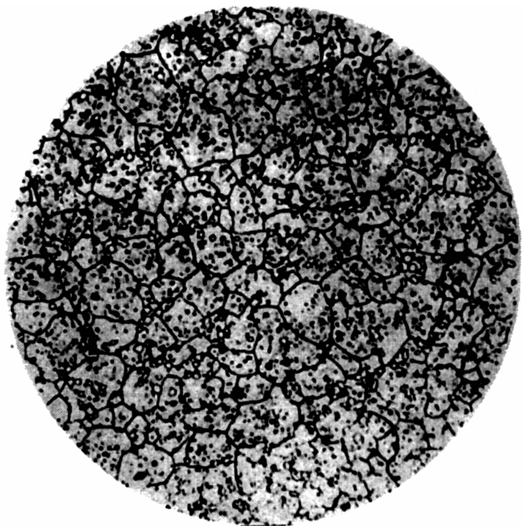
检验项目	检 验 方 法
套圈变形量	小尺寸套圈的变形量用百分表、内径仪、外径仪及平面度仪检查：大尺寸套圈的变形量用百分尺、管尺、塞规检查
钢球压碎载荷	钢球压碎载荷试验规程按 JB/T 1255—2001 中附录 A 的规定
回火稳定性	轴承零件按正常回火温度重新回火 2h，在原来位置相应点测量硬度，计算相应点的硬度差
断口	在外力作用下使之断裂，并目视检查

第一级别图　淬火组织晶粒度

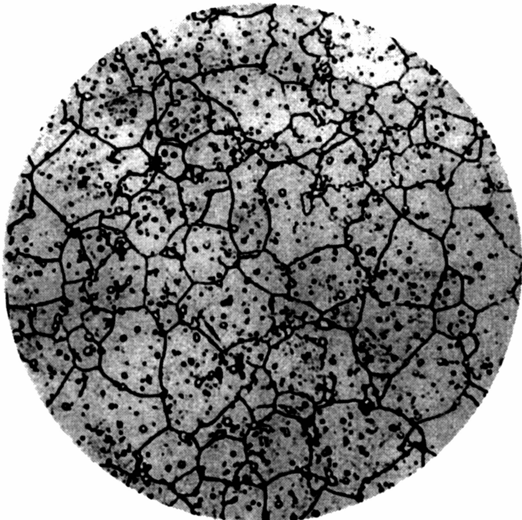
放大倍数：×500



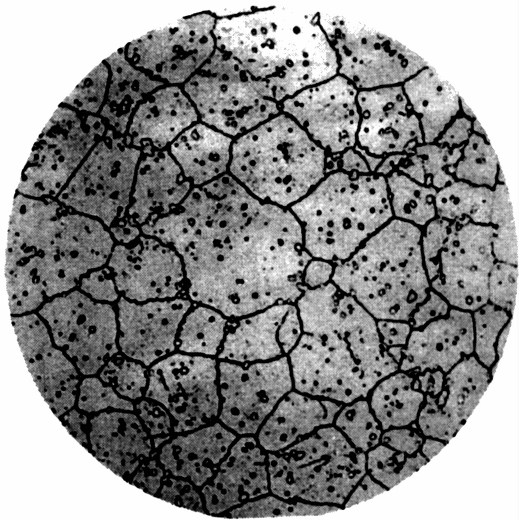
第1级



第2级



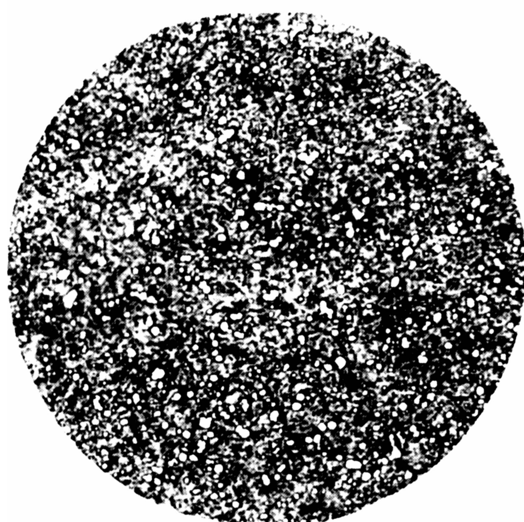
第3级



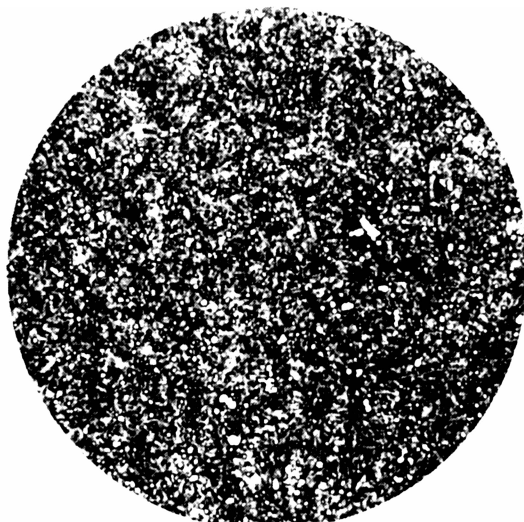
第4级

第二级别图　淬回火后组织

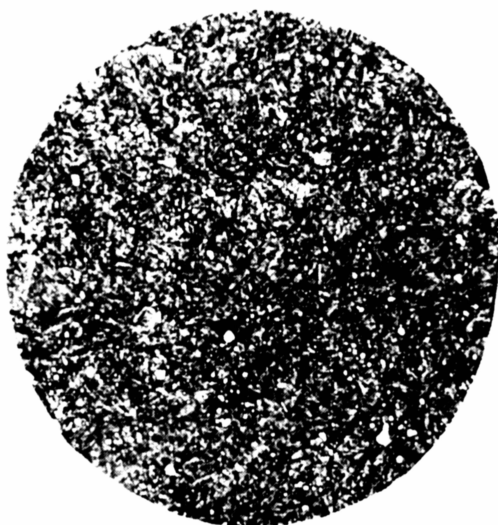
放大倍数：×500



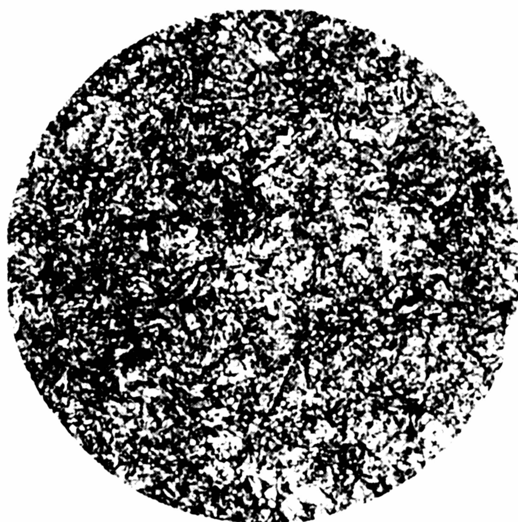
第1级



第2级



第3级



第4级

附　录　A

（规范性附录）

钢球压碎试验载荷

公称直径为4～30.162mm的高温轴承钢（W9Cr4V2Mo、W18Cr4V）制钢球的压碎载荷值按表A.1的规定。

表 A.1 钢球压碎载荷

钢球公称直径/mm	压碎载荷/kN		钢球公称直径/mm	压碎载荷/kN	
	淬回火后	成品		淬回火后	成品
4	6.66	8.53	13	70.36	87.72
4.5	8.43	10.78	13.494	75.85	94.08
4.762	9.41	12.05	14	81.63	100.94
5	10.39	13.33	14.288	85.06	104.86
5.556	12.84	16.27	15.081	94.77	116.62
5.953	14.80	18.13	15.875	104.96	128.38
6.35	16.76	21.27	16.669	115.74	142.10
6.5	17.64	22.34	17.462	127.01	154.84
6.747	18.91	24.0	18	134.95	164.64
7.144	21.27	26.95	18.256	138.77	168.56
7.5	23.42	29.69	19.05	151.12	183.26
7.938	26.26	32.83	19.844	164.05	198.94
8.5	30.09	37.63	20	166.60	201.88
8.731	31.75	39.69	20.638	177.38	214.62
9	33.71	41.94	21	183.65	221.48
9.525	37.83	47.04	22	201.50	241.03
10	41.65	51.94	22.225	203.70	246.96
10.319	44.39	54.88	23.019	220.70	257.74
11.112	51.45	63.70	23.812	236.18	281.26
11.509	55.47	68.60	24	239.90	287.14
11.906	59.00	73.5	25.4	268.72	318.50
12	59.98	74.48	26.988	303.31	357.70
12.303	63.01	78.40	28.575	340.06	396.90
12.7	67.13	83.30	30.162	378.97	441.00

附 录 B

（规范性附录）

酸洗检验规程

B.1 冷酸洗检验规程

本规程适用于检查 W9Cr4V2Mo、W18Cr4V 等钨系高温轴承钢制滚动轴承零件热处理后的表面脱碳及磨加工中产生的磨削烧伤、磨削裂纹等缺陷。

B.1.1 酸洗工艺

B.1.1.1 脱脂槽

成本：无水碳酸钢（Na_2CO_3） 3kg；

磷酸三钠（$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$） 3kg；

氢氧化钠（NaOH）	1kg；
水玻璃（Na_2SiO_3）	0.3kg；
水（H_2O）	100kg。

温度：75～85℃。

时间：2min以上（脱脂干净为止）。

控制指标：总碱量（Na_2CO_3）　　4%～8%。

B.1.1.2　清洗槽

成分：水（H_2O）。

温度：75～85℃。

时间：1min。

B.1.1.3　流动冷水槽

时间：1min。

B.1.1.4　酸洗槽

成分：硝酸（HNO_3）	4kg；
三氯化铁（$FeCl_3$）	3kg；
水（H_2O）	余量。

温度：室温。

时间：1～2min（轴承零件表面应酸洗呈现黑色）。

B.1.1.5　流动冷水槽

时间：1～2min。

B.1.1.6　第一明化槽

成分：铬酐（CrO_3）	14kg；
硫酸[H_2SO_4,d(相对密度)=1.84]	5kg；
水（H_2O）	余量。

温度：室温。

时间：0.5～1.5min。

B.1.1.7　流动冷水槽

时间：1min。

B.1.1.8　第二明化槽

成分：盐酸（HCl，d=1.19）	13kg；
氯化亚锡（$SnCl_2$）	0.3kg；
金属锡（Sn）	200g/槽；
水（H_2O）	余量。

温度：室温。

时间0.5～1min。

B.1.1.9　流动冷水槽

时间：1min。

B.1.1.10 中和槽

成分：无水碳酸钠（Na_2CO_3） 5kg；

水（H_2O） 100kg。

温度：室温。

时间：1～2min。

B.1.1.11 流动冷水槽

时间：1～2min。

B.1.1.12 防锈槽

成本：无水碳酸钢（Na_2CO_3） 5kg；

亚硝酸钠（$NaNO_2$） 10kg；

水（H_2O） 100kg。

温度：室温。

时间：1～2min。

B.1.2 酸洗检查

酸洗零件表面，经中和防锈后应在湿润的状态下，在散光灯下目视视察。

a）正常表面：呈灰色或深灰色；

b）脱碳：呈灰白色或暗黑色花斑；

c）烧伤：一般烧伤呈灰白色或浅白色，二次淬火烧伤呈亮白色；

d）裂纹：淬火裂纹一般较细，需仔细观察。

注：1. 酸洗时轴承零件在各槽溶液中均应上下窜动。

2. 在流动冷水槽中冲洗时，轴承零件应保证将上槽溶液冲洗干净。

3. 此酸洗工艺酸蚀量为2～4μm，磨削工序留量需考虑酸洗量。

4. 可根据酸洗零件的数量和酸洗效果，定期更换酸洗、明化溶液或补充其有效成分。

B.2 热酸洗检验规程

本规程适用于淬、回火后轴承零件的裂纹检查。

B.2.1 热酸洗前的准备

轴承零件酸洗前应经喷砂或除油清洗，钢球在酸洗前需经高于350℃的回火。

B.2.2 热酸洗工艺

酸洗液成分：1∶1 的盐酸水溶液。

温度：60℃ ±5℃。

酸洗时间：10～30min。

流动水冲洗后进行检查。

第七节 机床零件的热处理

一、概论

金属切削机床（简称机床）是金属机械零件成形加工的主要机器，是在工业生产中应用最广泛、最重要的机器。根据加工零件的形状和精度、批量的大小、零件的特殊性、通用或专用及自动化程度不同，机床可分为各种类型。

（1）普通机床：包括普通车床、钻床、镗床、铣床、刨插床等。

（2）精密机床：包括磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床和其他各种精密机床。

（3）高精度机床：包括坐标镗床、齿轮磨床、螺纹磨床、高精度滚齿机、高精度刻线机和其他高精度机床等。

随着电子工业和计算机技术的发展，机床控制的自动化有了极大的进展，从仿形机床、程序控制机床到数字控制机床、适应控制机床、加工中心和柔性制造系统。

机床零件热处理的目的主要是为了保证机床的精度、刚度、抗振能力和稳定性。

二、标准应用说明

机床零件用钢及热处理和机床零件热处理技术条件标准是根据机床制造工业长期实践，在1993年、1996年标准的基础上，针对机床零件的特点修订的。

（1）机床零件品种多，形状复杂，精度要求高，使用寿命长。机床零件除基础支承件（床身、立柱、导轨、滑座、工作台等）外，主要是传动系统零件（主轴、套筒、齿轮、丝杠、蜗轮、蜗杆、轴承等）。此外，还包括液压气动零件、数控机床的自动换刀系统的零件、润滑冷却装置零件等。

尽管机床的工作条件优于汽车、拖拉机、重型机械，而且润滑条件较好，冲击载荷较小，但由于对其精度要求较高，因而对机床零件的硬度和耐磨性有更高的要求。例如，对于数控机床主传动系统，为了适应主轴高速化的要求，高速功能全部或大部分由主轴电动机的无级调速来承担，省去了繁杂的齿轮变速机构，因而要求主轴必须具有足够的耐磨性，以长期保持其精度。此外，为了保证数控机床进给系统的定位精度和静、动态性强，对齿轮传动副、丝杠螺母副（包括滚珠丝杠螺母副）也都有更高的要求。

（2）多种热处理方式，批量相对较少，要求畸变小。

1）以周期作业炉为主，很少应用连续性作业炉，目前采用真空炉、可控气氛炉等洁净热处理日益增多，中、小零件也有在盐浴炉中进行淬火加热的。大部分机床零件热处理后需进行磨削加工。

2）大部分零件耐磨性的提高，可采用局部表面淬硬，常采用感应淬火。

3）对精度稳定性要求较高的零件，防止在使用过程中的变形，常安排一次或多次稳定化处理，例如，去应力处理、低温时效处理以及冷处理等。

4）为减少零件在热处理过程中的畸变，广泛采用低温化学热处理，如渗氮、氮碳共渗等。

5）除退火、正火等预备热处理外，调质处理件应用广泛。这是因为调质处理后，零件具有良好的综合力学性能，可满足许多部位零件的需要。

机床零件常采用的热处理工序是退火（完全退火、等温退火、球化退火、去应力退火等），正火，调质，淬火（完全淬火、不完全淬火等），表面淬火（感应加热、火焰加热等），化学热处理（渗碳、渗氮、碳氮共渗、氮碳共渗等），回火，时效，冷处理等。

（3）机床零件的材料以钢和铸铁为主。机床零件大多采用碳素结构钢和合金结构钢，少数零件如镶钢导轨、淬硬丝杠（包括滚珠丝杠）及滚珠轴承等，采用合金工具钢及滚动轴承钢。机床齿轮（数控机床齿轮有所减少）工作条件优于汽车齿轮，一般多采用45、40Cr等优质碳素结构或低合金结构钢制成。毛坯经锻造正火后，多采用调质作为预备热处理，经感应淬火后磨削制成。而对于一些大型、重载、高速的主传动齿轮及变速箱齿轮，也常用20CrMnTi、20CrMo、20Cr等，或经渗碳（或碳氮共渗）、淬火制成。这些可参阅齿轮零件的有关热处理标准。

对于机床基础支承件，如床身、立柱、工作台以及导轨等，目前仍以HT300高强度灰铸铁为主，需手工刮研导轨的床身，还常采用耐磨铸铁。（北京莫泊特热处理技术有限公司高仰之供稿）

三、标准内容（JB/T 6609—2008、JB/T 8491.1—2008、JB/T 8491.2—2008、JB/T 8491.3—2008、JB/T 8491.4—2008、JB/T 8491.5—2008）

机床零件用钢及热处理（JB/T 6609—2008）

1 范围

本标准规定了金属切削机床（以下简称机床）零件常用钢材品种，不同热处理的硬化层深度、硬度、热处理技术要求的表示方法及其在图样上的标注。

本标准适用于各类机床的钢制零件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 699—1999 优质碳素结构钢

GB/T 700—2006 碳素结构钢（ISO 630：1995，NEQ）

GB/T 1220—2007 不锈钢棒

GB/T 1222—2007 弹簧钢

GB/T 1298—2008 碳素工具钢（ASTM A686：1992，NEQ）

GB/T 1299—2000 合金工具钢（neq ASTM A 681：1994）

GB/T 1591—1994 低合金高强度结构钢（neq ISO 4950：1981）

GB/T 3077—1999 合金结构钢（neq DIN EN 10083-1：1991）

GB/T 8731—1988 易切削结构钢 技术条件（neq ГОСТ 1414：1975）

GB/T 9943—2008 高速工具钢（ISO 4957：1999，NEQ）

GB/T 15712—2008 非调质机械结构钢（ISO 11692：1994，MOD）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 渗碳、碳氮共渗淬火有效硬化层深度 carburizing，carbonitriding and hardening effective case depth

从渗碳、碳氮共渗淬硬零件表面至硬度为550 HV处的垂直距离。

3.2 有效渗氮层深度 nitriding effective case depth

从渗氮零件表面至规定硬度处的垂直距离。

3.3 感应淬火、火焰淬火有效硬化层深度 induction hardening and flame hardening effective case depth

从淬硬零件表面至维氏硬度等于技术要求的最低硬度的0.8倍处的垂直距离。

3.4 固溶处理 solid solution treatment

将合金加热至高温单相区，使过剩相充分溶解到固溶体中，经快速冷却得到过饱和的固溶体，这一过程称为固溶处理。

4 机床零件常用的钢材品种

钢的化学成分应符合表1的规定。

表1　钢的化学成分及基本特性

钢　号	主要化学成分（质量分数,%）								根据	钢的基本特性
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	其他		
Q235A	0.14~0.22	≤0.30	0.30~0.65	—	—	—	—	S≤0.050 P≤0.045	GB/T 700—1988	强度较低，塑性和韧性较高，冷作及焊接性良好
Q345A	≤0.20	≤0.55	1.00~1.60	—	—	—	0.02~0.15	S≤0.045 P≤0.045 Nb:0.015~0.060 Ti：0.02~0.20	GB/T 1591—1994	比Q235A钢强度提高30%~50%，耐大气腐蚀提高20%~38%。焊接性、低温冲击性、冷变形性及切削加工性均好
Y30	0.27~0.35	0.15~0.35	0.70~1.00	—	—	—	—	S：0.08~0.15 P≤0.06	GB/T 8731—1988	低硫、磷复合易切削结构钢，强度中等，切削加工性很好
Y40Mn	0.37~0.45	0.15~0.35	1.20~1.55	—	—	—	—	S：0.20~0.30 P≤0.05		高硫易切结构钢，强度较高，切削加工性很好
YF40MnV	0.37~0.44	0.30~0.60	1.00~1.50	—	—	—	0.06~0.13	S：0.035~0.075 P≤0.035	GB/T 15712—2008	含硫易切非调质钢，在无须进行调质处理的情况下，其强度与切削加工性能均优于45钢调质状态
YF45MnV	0.42~0.49	0.30~0.60	1.00~1.50	—	—	—	0.06~0.13	S：0.035~0.075 P≤0.035		
08	0.05~0.11	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.10	≤0.30	—	—	Cu≤0.25	GB/T 699—1999	强度、硬度很低，而塑性、韧性极高，具有良好的冷变形性和焊接性。正火后切削加工性尚可，退火后磁导率较高，剩磁较少，但淬透性、淬硬性极低
15	0.12~0.18	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.25	≤0.30	—	—	Cu≤0.25		塑性、韧性、冷变形性及焊接性均良好，但强度及淬透性较低，正火后切削加工性尚可
35	0.32~0.40	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25	≤0.30	—	—	Cu≤0.25		有较好的塑性和适当的强度，焊接性尚可，切削加工性好。不易产生淬火裂纹，但淬透性低。截面大于50mm时，调质状态的机械性能与正火相近

（续）

钢号	主要化学成分（质量分数,%）								根据	钢的基本特性
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	其他		
45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25	≤0.30	—	—	Cu≤0.25	GB/T 699—1999	强度较高，塑性及韧性尚好，切削加工性优良，焊接性中等，无回火脆性，但淬透性较低，当零件的形状复杂时还有淬火变形、开裂倾向。截面大于80mm时，调质状态的力学性能与正火相近
50	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25	≤0.30	—	—	Cu≤0.25		淬火后具有高的强度和硬度，切削加工性中等，冷变形塑性低，焊接性差，淬透性较低，水淬时有开裂倾向
60	0.57~0.65	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25	≤0.30	—	—	Cu≤0.25		淬火后的强度、硬度和弹性相当高，但淬透性低，水淬时有开裂倾向。冷变形塑性低，切削加工性与焊接性差
T8 T8A	0.75~0.84	≤0.35	≤0.40	—	—	—	—	S≤0.030 P≤0.035	GB/T 1298—2008	淬火后有较高的硬度及耐磨性，但热硬性低。淬透性差，淬火时易过热，开裂变形也大，塑性及强度也较低
T10 T10A	0.95~1.04	≤0.35	≤0.40	—	—	—	—	S≤0.030 P≤0.035		淬火后强度、耐磨性均比T8钢高，加热时不易过热。韧性尚可，但热硬性低。淬透性不高，淬火变形大
T12 T12A	1.15~1.24	≤0.35	≤0.40	—	—	—	—	S≤0.030 P≤0.035		淬火后强度、耐磨性比T10钢更好。但韧性低，热硬性与淬透性也差，水淬时变形、开裂倾向大
15CrMn	0.12~0.18	0.17~0.37	1.10~1.40	0.40~0.70	—	—	—	—	GB/T 3077—1999	与15钢相比淬透性较高，对较大截面的零件渗碳淬火后能获得较高的表面硬度与耐磨性，不易产生淬火软点。低温冲击值较高，但心部强度却提高不多，切削加工性好

（续）

钢号	主要化学成分（质量分数,%）								根据	钢的基本特性
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	其他		
20Cr	0.18～0.24	0.17～0.37	0.50～0.80	0.70～1.00	—	—	—	—	GB/T 3077—1999	与15钢相比具有较高的强度及淬透性，但韧性稍差。渗碳速度快，渗碳淬火后具有较高的硬度和耐磨性，但有晶粒长大倾向。冷变形塑性较高，焊接性较好，无回火脆性，切削加工性良好
20CrMo	0.17～0.24	0.17～0.37	0.40～0.70	0.80～1.10	—	0.15～0.25	—	—		淬透性较高，属本质细晶粒钢。热处理时不易过热，无回火脆性，冷变形塑性、焊接性及切削加工性良好
20CrMnTi	0.17～0.23	0.17～0.37	0.80～1.10	1.00～1.30	—	—	—	Ti：0.04～0.10		淬透性较高，渗碳速度较快，过渡层均匀，不易过热，但容易出现网状碳化物。渗碳淬火后变形较小，具有硬而耐磨的表面与坚韧的心部，并有较高的低温冲击韧性，切削加工性良好
12CrNi3	0.10～0.17	0.17～0.37	0.30～0.60	0.60～0.90	2.75～3.15	—	—	—		是一种用途较广的高级渗碳钢，强度、韧性、淬透性均高，冷变形塑性中等，焊接性及切削加工性尚好，但白点敏感性较高，有回火脆性，当镍含量在上限时，淬火后在渗碳层中易形成大量残留奥氏体
40Cr	0.37～0.44	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10	—	—	—	—		与相应的碳钢相比强度及淬透性均高。截面小于50mm时油中淬火有自由铁素体析出，水淬时形状复杂的零件易出现开裂，在450～680℃回火时有第二类回火脆性，对白点敏感性较大，冷变形塑性中等，切削加工性好，但焊接性有限

（续）

钢号	主要化学成分（质量分数,%）								根据	钢的基本特性
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	其他		
35CrMo	0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	—	0.15~0.25	—	—	GB/T 3077—1999	强度、韧性、疲劳强度及淬透性均比40Cr高，属细晶粒钢。热处理时无过热倾向，淬火变形小，但有第一类回火脆性。切削加工性尚可，冷变形塑性中等，焊接性差
35CrMnSiA	0.32~0.39	1.10~1.40	0.80~1.10	1.10~1.40	—	—	—	—	GB/T 3077—1999	强度高、韧性及淬透性好。热处理后具有较高的硬度与耐磨性，焊接性也好，但回火脆性和脱碳倾向较大，切削加工性稍差
42CrMo	0.38~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	0.90~1.20	—	0.15~0.25	—	—	GB/T 3077—1999	特性与35CrMo相近，但强度及淬透性更高，水淬时有开裂倾向
38CrMoA1	0.35~0.42	0.20~0.45	0.30~0.60	1.35~1.65	—	0.15~0.25	—	Al：0.70~1.10	GB/T 3077—1999	强度较高，渗氮后有非常高的表面强度、耐磨性及高的疲劳强度，并有良好的耐热性（可达500℃）及耐蚀性能。热处理变形小，无回火脆性，切削加工性尚可，但淬透性不高且脱碳倾向较大，冷变形塑性低，焊接性差，在热加工时易产生条状及层状组织
65Mn	0.62~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	≤0.25	≤0.25	—	—	Cu≤0.25 P≤0.035 S≤0.035	GB/T 1222—1984	具有较高的强度、硬度、弹性及较好的淬透性，脱碳倾向不大，切削加工尚可，但热处理存在过热敏感性及回火脆性，水淬时较易产生裂纹。冷变形塑性低，焊接性差

（续）

钢号	主要化学成分（质量分数,%）								根据	钢的基本特性
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	其他		
50CrVA	0.46～0.54	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10	≤0.35	—	0.10～0.20	Cu≤0.25 P≤0.030 S≤0.030	GB/T 1222—1984	热处理后具有较好的韧性、高的强度、弹性极限和疲劳性能，屈强比值也高，具有良好的淬透性（直径30～45mm的零件在油中可以淬透）和低的过热敏感性。脱碳倾向小，回火稳定性高，切削加工性亦佳，低温冲击韧性良好，但焊接性差，冷变形塑性低，热加工时有形成白点的敏感性
60Si2MnA	0.56～0.64	1.60～2.00	0.60～0.90	≤0.35	≤0.35	—	—	Cu≤0.25 P≤0.030 S≤0.030	GB/T 1222—1984	强度、弹性极限及屈强比值均高，热处理后韧性较好，淬透性较高，淬火时不易过热，无回火脆性，但有深度脱碳倾向。切削加工性稍差，焊接性及冷变形塑性低
GCr15	0.95～1.05	0.15～0.35	0.20～0.40	1.30～1.65	—	—	—	P≤0.027 S≤0.020		具有较高的淬透性，淬火后可获得高而均匀的硬度，耐磨性和耐疲劳性较高，但对白点形成敏感，有回火脆性倾向，冷变形塑性中等，切削加工性稍差，焊接性也差
GCr15SiMn	0.95～1.05	0.40～0.65	0.90～1.20	1.30～1.65	—	—	—	P≤0.027 S≤0.020		比GCr15具有更高的淬透性和耐磨性、冷变形塑性中等，但对白点形成敏感并有回火脆性倾向，焊接性不好
9Mn2V	0.85～0.95	≤0.40	1.70～2.00	—	—	—	0.10～0.25	Co≤1.00 P≤0.030 S≤0.030	GB/T 1299—2000	有高的强度、韧性及耐磨性、淬透性尚好，淬火变形小，由于钒具有细化晶粒作用，故使过热敏感性减少，碳化物分布较均匀，磨削时不易产生裂纹

（续）

钢　　号	主要化学成分（质量分数,%）								根据	钢的基本特性
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	其他		
9SiCr	0.85～0.95	1.20～1.60	0.30～0.60	0.95～1.25	—	—	—	Co≤1.00 P≤0.030 S≤0.030	GB/T 1299—2000	具有高的淬硬性与淬透性，直径40～50mm的零件在油中可以淬透，回火稳定性较高，淬火变形较小，但脱碳倾向较大
W6Mo5Cr4V2	0.80～0.90	0.20～0.45	0.15～0.40	3.80～4.40	—	4.50～5.50	1.75～2.20	W：5.50～6.75 P≤0.030 S≤0.030	GB/T 9943—2008	碳化物细小而分布均匀，高温塑性好。与W18Cr4V钢比较，韧性与耐磨性更好，硬度与热硬性相当，但磨削加工性能稍差，且易氧化、脱碳和过热
2Cr13	0.16～0.25	≤1.00	≤1.00	12.00～14.00	≤0.60	—	—	P≤0.035 S≤0.030	GB/T 1220—1992	马氏体型不锈钢，有较好的强度及韧性，淬火后具有较高的耐蚀性和热强性，特别是有良好的消震性，抛光性良好，切削加工性尚可
3Cr13	0.26～0.35	≤1.00	≤1.00	12.00～14.00	≤0.60	—	—	P≤0.035 S≤0.030		马氏体型不锈钢，与2Cr13钢比较，其硬度、强度、淬透性及热强性均较高，但耐蚀性和在700℃以下的高温热稳定性稍低
1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤1.00	≤2.00	17.00～19.00	8.00～11.00	—	—	P≤0.035 S≤0.030 Ti：5x(C%-0.02)～0.80		奥氏体型不锈钢，固溶处理后在不同温度和浓度的各种腐蚀介质中均有良好的耐蚀性。在空气中的热稳定性也很高（可达850℃），热变形塑性、焊接性及低温韧性均很好，但切削加工性较差

5　热处理技术要求的表示方法

5.1　热处理的设计技术要求通常包括热处理工艺方法、有效硬化层深度和表面硬度三部分内容，但根据零件的具体情况不同可选定与其服役条件有关内容的全部或一部分。

5.2　热处理工艺方法可用汉字名称或代号表示。代号是用其名称中一个汉字的汉语拼音的第一个字母大写表示，当有重复时再取其名称中另一个汉字的汉语拼音的第一个字母小写共同表示。

5.3　当热处理工艺方法用汉字名称时，其有效硬化层深度和表面硬度采用范围值表示。

5.4　当热处理工艺方法用代号时，其有效硬化层深度和表面硬度采用表 3 ~ 表 6 规定的公称值表示。

5.5　两种热处理方法代号复合使用时，应在代号中用横线“-”隔开。

5.6　常用的热处理技术要求表示举例见表 2。

表 2　常用的热处理工艺方法及技术要求

热处理工艺方法		热处理技术要求表示举例	
名　　称	字　　母	汉字表示	代号表示
退火	Th	退火	Th
正火	Z	正火	Z
固溶处理	R	固溶处理	R
调质	T	调质 200 ~ 230HBW	T215
淬火	C	淬火 42 ~ 47HRC	C42
感应淬火	G	感应淬火 48 ~ 52HRC	G48
		感应淬火深度 0.8 ~ 1.6mm，48 ~ 52HRC	G0.8 ~ 48
调质感应淬火	T-G	调质 220 ~ 250BHW 感应淬火 48 ~ 52HRC	T235-G48
火焰淬火	H	火焰淬火 42 ~ 48HRC	H42
		火焰淬火深度 1.6 ~ 3.6mm，42 ~ 48HRC	H1.6-42
渗碳、淬火	S-C	渗碳淬火深度 0.8 ~ 1.2mm，58 ~ 63HRC	S0.8 ~ C58
渗碳、感应淬火	S-G	渗碳感应淬火深度 1.0 ~ 2.0mm，58 ~ 63HRC	S1.0-G58
碳氮共渗、淬火	Td-C	碳氮共渗淬火深度 0.5 ~ 0.8mm，58 ~ 63HRC	Td0.5-C58
渗氮	D	渗氮深度 0.25 ~ 0.4mm，≥850HV	D0.3-850
调质、渗氮	T-D	调质 250 ~ 280HBW 渗氮深度 0.25 ~ 0.4mm，≥850HV	T265-D0.3-850
氮碳共渗	Dt	氮碳共渗≥480HV	Dt480

注：1. 冷卷弹簧的定形、消除应力处理可用“Hh”表示。
　　2. 不同钢种的热处理代号见表 7。

6　有效硬化层深度及深度偏差

6.1　常用的渗碳、碳氮共渗淬火有效硬化层深度及深度偏差按表 3 规定。

表 3　常用的渗碳、碳氮共渗淬火有效硬化层深度及深度偏差　（单位：mm）

公称深度	深度偏差	应用范围举例
0.3	+0.2 0	厚度≤1.75mm 的摩擦片、样板，模数 1.5 ~ 2.25mm 的齿轮，模数≤1.25mm 的蜗杆

（续）

公称深度	深度偏差	应用范围举例
0.5	+0.3 0	厚度＞1.75～2mm 的摩擦片、样板、小轴、小型离合器，模数 2.5～3.5mm 的齿轮，模数 1.5～2.5mm 的蜗杆
0.8	+0.4 0	轴、套筒、活塞、支撑销、离合器，模数 4～5.5mm 的齿轮，模数 2.75～10mm 的蜗杆
1.2	+0.5 0	主轴、套筒、大型离合器，模数 6～10mm 的齿轮，模数 11～16mm 的蜗杆
1.6		镶钢导轨、大轴、大轴承环，模数 11～12mm 的齿轮
2.0		

6.2 常用的有效渗氮层深度及深度偏差按表 4 规定。

表 4 常用的有效渗氮层深度及深度偏差 （单位：mm）

公称深度	深度偏差	应用范围举例
0.15	+0.10 −0.05	模数≤1.75mm 的齿轮
0.30		套、环、丝杠、垫圈，模数 2～3mm 的齿轮
0.40	+0.15 −0.05	直径＜60mm 的镗杆、主轴、套筒、蜗杆、镶钢导轨，模数 3.5～4mm 的齿轮
0.50		直径≥60～160mm 的镗杆、主轴，模数 4.5～5mm 的齿轮
0.60		直径＞160mm 的镗杆、主轴、蜗杆，模数＞5.5～6.5mm 的齿轮

6.3 常用的感应淬火、火焰淬火有效硬化层深度及深度偏差按表 5 规定。

表 5 常用的感应淬火、火焰淬火硬化层深度及深度偏差 （单位：mm）

公称深度	深度偏差	
	感应淬火	火焰淬火
0.6	+0.6 0	火焰淬火通常不采用＜1.6mm 的淬火深度
0.8	+0.8 0	
1.0	+1.0 0	
1.3	+1.1 0	
1.6	+1.3 0	+2.0 0
2.0	+1.6 0	
2.5	+1.8 0	
3.0	+2.0 0	
4.0	+2.5 0	+2.5 0
5.0	+3.0 0	+3.0 0

注：本表规定的感应淬火或火焰淬火的有效硬化层深度只适于有特殊要求的零件，一般可不选用。

6.4　表3～表5中规定的公称深度系指成品零件平面或圆周上的实际深度，如规定的深度不能满足要求时，可以另行确定。

7　表面硬度及硬度偏差

7.1　常用的硬度及硬度偏差按表6规定。

表6　常用的硬度及硬度偏差

<table>
<tr><th>工艺方法</th><th>硬度种类</th><th>公称硬度</th><th>硬度偏差</th></tr>
<tr><td rowspan="4">调质</td><td rowspan="4">HBW</td><td>215</td><td rowspan="4">±15</td></tr>
<tr><td>235</td></tr>
<tr><td>265</td></tr>
<tr><td>285</td></tr>
<tr><td rowspan="9">淬火
火焰淬火
感应淬火
渗碳淬火
碳氮共渗淬火</td><td rowspan="9">HRC</td><td>35</td><td rowspan="9">+5
0</td></tr>
<tr><td>42</td></tr>
<tr><td>45</td></tr>
<tr><td>48</td></tr>
<tr><td>50</td></tr>
<tr><td>52</td></tr>
<tr><td>56</td></tr>
<tr><td>58</td></tr>
<tr><td>60</td></tr>
<tr><td rowspan="7">渗氮
氮碳共渗</td><td rowspan="7">HV</td><td>450</td><td rowspan="7">上偏差不限
下偏差为零</td></tr>
<tr><td>480</td></tr>
<tr><td>500</td></tr>
<tr><td>550</td></tr>
<tr><td>600</td></tr>
<tr><td>850</td></tr>
<tr><td>900</td></tr>
</table>

7.2　采用其他等效的硬度种类时，其对应的数值应与表6规定相符合。

7.3　表6规定的硬度不能满足零件要求时，可以另行确定。

8　钢材热处理的力学性能

常用钢种经不同热处理后的力学性能按表7规定。

9　热处理技术要求在图样上的表示方法

9.1　零件全部热处理时，技术要求应写在图面的空白处或标题栏内，不要与其他技术要求、说明等混在同一条中。

表 7　钢材热处理后的力学性能

钢号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A(%)	Z(%)	a_K/(J/cm^2)	HBW	HRC		
Q235A	不热处理	热轧	185～235	375～460	21～26	—	—	—	—	用于轻负荷、不受摩擦的地脚螺钉、螺母、垫圈等零件和水箱、油箱、电器柜、防护罩、盖板、托盘等焊接构件	—
Q345A	不热处理	热轧	274.5～343	460.7～509.9	19～21	—	—	—	—	用于强度较高的焊接构件和磨床砂轮罩等	—
Y30	不热处理	热轧	—	510～655	≥15	≥25	—	≥187	—	用于在自动机上大量加工、强度要求不高的各种紧固件等	—
		冷拉	—	540～825	≥6	—	—	174～223	—		
Y40Mn	不热处理	热轧	—	590～735	≥14	≥20	—	≥207	—	用于要求切削加工性好、表面粗糙度要求低、精度为7～9级的丝杆等零件	—
		冷拉后高温回火	—	590～785	≥17	—	—	179～229	—		
YF40MnV	不热处理	热轧	≥490	785	≥15	≥40	≥39	230～260	—	用于强度、硬度均与45钢调质状态水平相当、精度7～9级的丝杠、光杠、轴、花键轴等零件	—
YF45MnV	不热处理	热轧	≥490	≥785	≥15	≥40	≥31	230～260	—		
08	Th	960～1000℃炉冷	—	—	—	—	—	≤131	—	用于要求磁导率较高，剩磁较少的电磁铁、电磁吸盘等电器零件	—
	Z	910～940℃空冷	≥195	≥325	≥33	≥60	—	—	—	用于深冲、冷作的零件	—
15	Z	910～940℃空冷	≥225	≥375	≥27	≥55	≥63.7	≤143	—	用于离心浇铸双金属套的基体材料	—
35	Z	850～870℃空冷	≥314	≥529	≥20	≥45	≥88	≤187	—	用于负荷较小和无耐磨性要求的轴、拉杆、手柄等零件	—

（续）

钢号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A（%）	Z（%）	a_K/（J/cm^2）	HBW	HRC		
35	C35	830～850℃淬火 380～420℃回火	≥637	≥980	≥8	≥30	≥59	—	35～40	用于具有较高强度的螺钉、螺母、销、挡铁、垫圈等各种标准件	≤45
45	Z	840～860℃空冷	≥353	598	≥16	≥40	≥49	170～217	—	用于负荷不大的轴、丝杠、套筒、齿轮等零件	—
	T215	820～840℃淬火 600～640℃回火	544	740	26.5	68	159	200～230	—	用于要求强度不高的齿轮、蜗杆、丝杆等零件	≤80
	T235	820～840℃淬火 580～620℃回火	608	824	23.5	65	171	220～250	—	用于承受中等负荷、低速工作的轴、花键套、套、大型定位销等零件	
	T265	820～840℃淬火 540～580℃回火	726	941	18.5	61	156	250～280	—	用于主轴、套筒、花键轴、丝杠及中等模数的齿轮等零件	
	T285	820～840℃淬火 500～540℃回火	—	—	—	—	—	270～300	—		
	C35	810～830℃淬火 400～450℃回火	≥637	≥882	≥15	≥40	≈39	—	35～40	用于具有较高强度的螺钉、螺母、销、垫圈等各种标准件	≤70
	C42	810～830℃淬火 350～370℃回火	≥980	≥1176	≥10	≥40	≥59	—	42～47	用于要求强度、硬度较高，形状简单的离合器、齿轮、轴、销、挡铁等零件	≤50
	C48	810～830℃淬火 240～280℃回火	≥931	≥1176	≥6	≥22	—	—	48～53	用于要求强度、硬度、耐磨性较高，且不受冲击的轴、齿轮、卡爪等零件	≤30

（续）

钢号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A(%)	Z(%)	a_K/(J/cm^2)	HBW	HRC		
45	C42 T-G42	860~900℃淬火 300~360℃回火	—	—	—	—	—	—	42~47	用于小负荷、中等速度和承受一定冲击，模数小于2mm的齿轮、内齿轮、离合器和大轴等零件	—
	G48 T-G48	860~900℃淬火 220~250℃回火	—	—	—	—	—	—	48~53	用于小负荷、中等速度，工作尺寸较大的齿轮、离合器和大轴等零件	—
	G52 T-G52	860~900℃淬火 180~220℃回火	—	—	—	—	—	—	52~57	用于恒定重负荷、中等速度、模数小于4mm的齿轮，冲击不大的离合器和轴等零件	—
	H48	860~900℃淬火 250~800℃回火	—	—	—	—	—	—	48~53	用于局部要求耐磨的零件	
	Dt480	570~590℃ 氮碳共渗	—	—	—	—	—	—	≥480HV	用于低精度的丝杠、进给系统齿轮和负荷不大而要求耐磨的零件	—
50	Z	840~860℃空冷	≥365	≥650	≥15	≥40	≥69	≥229	—	用于速度较低、要求耐磨性不高的齿轮、齿条等零件	—
	T	820~840℃淬火 550~650℃回火	≥540	≥735	≥15	≥40	≥69	220~250	—	用于承受中等负荷、低速工作的轴、花键套、套、大型定位销等零件	—
	C52	820~840℃淬火 180~200℃回火	—	—	—	—	—	—	52~57	用于耐磨要求高、冲击不大的零件	≤20
	G56	860~880℃淬火 160~180℃回火	—	—	—	—	—	—	56~61	用于表面硬度高、耐磨和淬火变形小的主轴、轴及其他大、中型零件	—

（续）

钢号	热处理代号	工艺规范	力学性能 R_{eL}/MPa	力学性能 R_m/MPa	力学性能 A（%）	力学性能 Z（%）	力学性能 a_K/（J/cm^2）	力学性能 HBW	力学性能 HRC	应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
60	Z	880～850℃空冷	≥395	≥705	≥12	≥35	—	≤255	—	用于速度较低、要求耐磨性不高的齿轮、齿条等零件	—
	G58	820～870℃ 淬合成淬火液 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于要求耐磨的立车滑枕导轨等零件	—
T8 T8A	C58	780～800℃淬火 160～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于要求耐磨性高的顶尖、卡头等零件	—
T10 T10A	Th	750～770℃加热 640～670℃等温	—	—	—	—	—	159～207	—	用于要求尺寸稳定性高的精密丝杠等零件	≤50
	T215	800～820℃淬火 600～640℃回火	—	—	—	—	—	200～230	—	用于承受较大负荷并要求一定耐磨性的精密丝杠	≤50
	T235	800～820℃淬火 560～600℃回火	—	—	—	—	—	220～250	—		—
	C60	770～790℃淬火 160～200℃回火	—	—	—	—	—	—	60～65	用于要求耐磨性高的顶尖、套筒、模板、凸轮、心轴等零件	≤20
T12 T12A	Th	750～770℃加热 640～670℃等温	—	—	—	—	—	159～207	—	用于要求尺寸稳定性高的精密丝杠等零件	—
	T215	800～821℃淬火 630～680℃回火	—	—	—	—	—	200～230	—	用于承受较大负荷并要求一定耐磨性的精密丝杠（耐磨性比等温球化退火约高 30%）	—
	T235	800～820℃淬火 600～640℃回火	—	—	—	—	—	220～250	—		
	C60	770～790℃淬火 160～200℃回火	—	—	—	—	—	—	60～65	用于要求耐磨性高的顶尖、套筒、模板、凸轮、心轴等零件	≤20

（续）

钢号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A(%)	Z(%)	a_K/(J/cm^2)	HBW	HRC		
15CrMn	S-G58	900～950℃渗碳 810～840℃淬油 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于高速、中或小负荷、冲击较小而要求耐磨的主轴、花键轴、齿轮等零件(去碳较易配作)	≤50
		900～950℃渗碳 840～880℃ 淬乳化液 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于承受小负荷、冲击不大及局部耐磨的中、小零件	—
20Cr	S-C58	900～950℃渗碳 800～850℃淬油 180～200℃回火	≥400	≥650	≥12	≥40	≥60	—	58～63	用于高速、受冲击、中等尺寸的变速箱齿轮、爪形离合器、套、导向板及装滑动轴承的主轴、心轴、滑枕、蜗杆、仿形板等	≤30
	S-G58	900～950℃渗碳 830～880℃ 淬乳化液 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于要求耐磨性较高、热处理变形小的轴、花键轴、模数小于3mm的齿轮等零件	—
	D550	510～540℃渗氮	—	—	—	—	—	—	≥550HV	用于耐磨、变形小的锥齿轮、蜗杆、花键套等零件	—
20CrMo	S-C58	900～950℃渗碳 830～850℃淬油 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于中、高负荷、高速及受冲击的齿轮、主轴、接长杆、蜗杆、爪形离合器、方刀台等零件	≤80

（续）

钢　号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A（%）	Z（%）	a_K/（J/cm²）	HBW	HRC		
20CrMo	S-G58	900～950℃渗碳 850～880℃ 淬乳化液 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于中等负荷、高速、受冲击、要求变形小的齿轮、爪形离合器等零件	—
	D550 T-D550	510～540℃渗氮	—	—	—	—	—	—	≥550HV	用于耐磨、变形小的锥齿轮、蜗杆、花键套零件	—
20CrMnTi	S-C58	900～950℃渗碳 820～860℃淬油 180～200℃回火	≥784	≥980	≥10	≥50	≥78	—	58～63	用于中、高负荷、高速及有冲击的齿轮、蜗杆、爪形离合器、装滑动轴承的主轴	≤80
	S-G58	900～950℃渗碳 820～860℃ 淬乳化液 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于中等负荷、高速、有冲击而要求热处理变形小的齿轮、爪形离合器等零件	—
	D600 T-D600	510～540℃渗氮	—	—	—	—	—	—	≥600HV	用于要求耐磨、热处理变形小的锥齿轮、主轴、蜗杆、滚珠丝杠反向器等零件	—
12CrNi3	S-C58	900～950℃渗碳 780～800℃淬油 180～200℃回火	≥700	≥850	≥10	≥50	≥80	—	58～63	用于重负荷、高速及冲击较大的齿轮、主轴、轴、顶尖套、蜗杆、离合器、花键套等零件	—
40Cr	T215	840～860℃淬油 680～700℃回火	652	823	22.5	66.5	166	200～230	—	用于中等负荷、中等速度及冲击条件下工作的轴、光杆、花键套等零件	≤50

（续）

钢号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A(%)	Z(%)	a_K/(J/cm^2)	HBW	HRC		
40Cr	T235	840~860℃淬油 660~860℃回火	652	823	22.5	66.5	166	220~250	—	用于中等负荷、中等速度及冲击条件下工作的轴、光杆、花键套等零件	≤50
	T265	840~860℃淬油 640~660℃回火	779	911	17	60	131	250~280	—	用于要求强度较高的主轴、套筒等零件	
	T285	840~860℃淬油 620~640℃回火	—	—	—	—	—	270~300	—	用于要求强度较高的主轴、套筒等零件	≤50
	C42	830~860℃淬油 360~400℃回火	1170	1186	—	38	55.9	—	42~47	用于承受高负荷、冲击及中等速度工作的齿轮、主轴、蜗杆、油泵转子、尾架套筒、套、滑阀、环等零件	≤50
	C48	830~860℃淬油 280~320℃回火	1274~1372	1470~1568	7	25	29.4	—	48~53	同40Cr-C42，但用于截面较小的零件	≤30
	C52	830~860℃淬油 180~200℃回火	1591	1856	8.3	33.7	55	—	52~57	用于重负荷、低冲击及要求耐磨的蜗杆、主轴、轴、套、环等零件	≤25
	T48 T-G48	860~880℃ 淬乳化液 240~280℃回火	—	—	—	—	—	—	48~53	用于承受中等压力和中等速度的尺寸较大的齿轮、轴等零件	—
	G52 T-G52	860~880℃ 淬乳化液 180~200℃回火	—	—	—	—	—	—	52~57	用于要求硬度、耐磨性高的主轴、心轴、齿轮等零件	—

（续）

钢　号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A(%)	Z(%)	a_K/(J/cm^2)	HBW	HRC		
40Cr	D450	510～540℃渗氮	—	—	—	—	—	—	≥450HV	用于要求耐磨、热处理变形小、渗氮后不进行磨削加工的锥齿轮、蜗杆、花键套等零件	—
	Dt500	560～580℃氮碳共渗	—	—	—	—	—	—	≥500HV		
35CrMo	T265	850～870℃淬油 600～660℃回火	671	818	23	67	218	250～280	—	用于精密传动的齿轮	≤100
	C48	850～870℃淬油 260～300℃回火	≥1372	≥1568	≥12	≥38	—	—	48～53	用于要求较高疲劳强度、大负荷及中等速度工作的齿轮、主轴和中等负荷、高速而受冲击的离合器等零件	≤70
	D550 Dt550	500～560℃渗氮 560～580℃氮碳共渗	—	—	—	—	—	—	≥550HV	用于表面耐磨、变形小的锥齿轮、蜗杆、花键套、滚珠丝杠反向器等零件	—
	C52	830～850℃淬油 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	52～57	用于高负荷、受冲击、要求硬度高而尺寸较小的零件	≤30
	D550	550～560℃渗氮	—	—	—	—	—	—	≥550HV	用于要求耐磨、热处理变形小、渗氮后不进行磨削加工的锥齿轮、蜗杆、花键套等零件	—
38CrMoAlA	D850	500～560℃渗氮	—	—	—	—	—	—	≥850HV	用于耐磨性好、疲劳强度较高及热处理变形小的镗杆、套筒、主轴、蜗杆、齿轮、滚珠丝杠等零件	—

（续）

钢号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A(%)	Z(%)	a_K/(J/cm^2)	HBW	HRC		
65Mn	C42	790～820℃淬油 380～420℃回火	1352	1470	8.5	40	44	—	42～47	用于带状弹簧和一般的弹簧垫圈、弹簧环、压力弹簧等弹性零件	≤35
	C45	790～820℃淬油 320～380℃回火	—	1676	6.2	27	—	—	45～50		≤25
	C50	790～820℃淬油 260～300℃回火	—	—	—	—	—	—	50～55	用于要求弹性高的小弹簧及各种弹性零件	≤20
	C56	790～820℃淬油 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	56～61	用于要求具有较高强度和耐磨性的弹簧夹头、活塞、心轴、主轴等零件	≤15
	T235-G58	830～850℃ 淬乳化液 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于要求耐磨性高，心部韧性好的主轴、心轴等	—
50CrVA	C42	840～860℃淬油 400～450℃回火	≥1078	≥1274	≥10	≥45	29	—	42～47	用于碟形弹簧及承受重负荷、要求高弹性、高疲劳强度的重要弹簧	≤50
	C45	840～860℃淬油 370～420℃回火	1392	1480	8.5	44	—	—	45～50		≤30
	C52	840～860℃淬油 180～200℃回火	—	—	—	—	—	—	52～57	用于高速、重负荷的主轴等零件	≤30
60Si2MnA	C42	860～880℃淬油 430～470℃回火	1477	1583	10.6	49.7	—	—	42～47	用于碟形弹簧及承受大的负荷、截面厚度在6mm以上的大型弹簧	≤45
	C45	860～880℃淬油 400～430℃回火	1176	1274	5	25	34.3	—	45～50		—

（续）

钢　号	热处理代号	工艺规范	力学性能 R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A（%）	Z（%）	a_K/（J/cm²）	HBW	HRC	应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
GCr15	C58	830～850℃淬火 170～200℃回火	1666～1813	2156～2548	—	—	—	—	58～63	用于承受负荷不大、要求耐磨性高的垫块、心轴、滚珠螺母等零件	≤40
	C60	830～850℃淬火 150～170℃回火	—	—	—	—	—	—	60～65	用于大负荷、要求耐磨性高的叶片、泵定子、镶钢导轨、靠模等零件	≤30
	G58 T-G58	880～900℃ 淬乳化液 170～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于要求耐磨性高、变形小的滚珠丝杠等零件	—
GCr15SiMn	C60	820～840℃淬油 150～180℃回火	—	—	—	—	—	—	60～65	用于直径大于60mm的滚珠丝杠和尺寸较大、有表面硬度要求的主轴等零件	—
	G58 T-G58	880～900℃ 淬乳化液 170～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63		
9Mn2V	C56	790～820℃淬油 230～280℃回火	—	—	—	—	—	—	56～61	用于要求耐磨性好、精度稳定性高、直径小于50mm的精密丝杠、导向套等零件	≤50
	C58	790～820℃淬油 180～220℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于承受大负荷、耐磨性要求高的尾架套筒、样板、凸轮、油泵转子等零件	≤30
	C60	790～820℃淬油 160～200℃回火	—	—	—	—	—	—	60～65		
	G60	820～860℃ 淬乳化液 160～200℃回火	—	—	—	—	—	—	60～65	用于要求表面耐磨、心部韧性好、热处理变形小的磨床主轴等零件	—

（续）

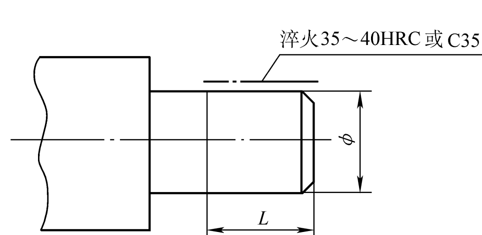
钢号	热处理代号	工艺规范	力学性能							应用范围举例	表面硬度能达到要求的截面尺寸/mm
			R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A（%）	Z（%）	a_K/（J/cm^2）	HBW	HRC		
9SiCr	C58	850～870℃淬油 160～200℃回火	—	—	—	—	—	—	58～63	用于要求尺寸稳定性高、弹性好的弹簧夹头等零件	≤50
W6Mo5Cr4V2	C60	1210～1245℃淬油 550～570℃回火	—	—	—	—	—	—	60～65	用于油泵叶片、螺纹磨床顶尖及其他在较高温度下工作、要求耐磨的零件	—
2Cr13	Hh	860～880℃炉冷	245	490	22	65	88	146～196	—	用于在大气或潮湿环境中工作的受力不大，但要求耐蚀性高的镜面轴、紧固件、传动件及装饰性零件等	—
	T235	1000～1050℃淬油 600～700℃回火	596	848	19	63.5	127	220～250	—		
	C42	1000～1050℃淬油 220～250℃回火	—	—	—	—	—	—	42～47	用于要求耐磨、耐蚀的零件	—
	D850	540～560℃渗氮	—	—	—	—	—	—	≥850HV	用于要求耐磨、耐蚀、热处理变形小的零件	—
3Cr13	Th	850～870℃炉冷	≥295	≥540	≥20	≥60	≥69	207～220	—	用于在大气或潮湿环境中工作的受力不大但要求耐蚀性高的镜面轴、紧固件、传动件及装饰性零件等	—
	T235	1000～1050℃淬油 600～700℃回火	≥540	≥735	≥12	≥40	≥29	220～250	—		—
	C48	980～1050℃淬油 200～300℃回火	1520	1716	8	—	—	—	48～53	用于要求耐磨、耐蚀、热处理变形小的零件	—
1Cr18Ni9Ti	R	1100～1150℃淬火	≥206	≥539	≥40	≥55	—	≥187	—	用于要求抗磁和耐蚀性高的零件	—
	D900	500～550℃渗氮	—	—	—	—	—	—	≥900HV	用于要求耐磨性、耐蚀性高的零件	—

注：渗碳淬火、感应淬火、火焰淬火、渗氮、氮碳共渗处理的力学性能均指心部的力学性能，其中感应淬火、火焰淬火、渗氮、氮碳共渗的心部力学性能取决于预备热处理方法。

例如：

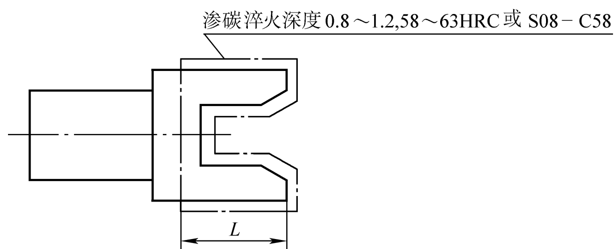
淬火 42 ~ 47HRC 或 C42

9.2　零件局部热处理时，应在图样上把需要热处理的局部用粗点画线画出其范围，并标注相应的尺寸和技术要求，同时在图面空白处或标题栏内注明“局部热处理”字样。如图 1、图 2。



局部热处理

图　1



局部热处理

图　2

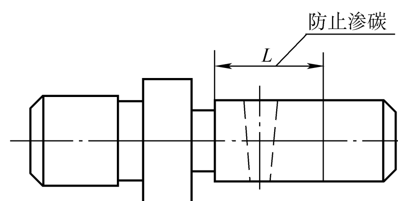
9.3　对于齿轮的齿部、爪型离合器的爪部、圆螺母的槽部等局部热处理，不便在图样上用粗点画线画出局部处理范围时，其技术要求应写在图面空白处或标题栏内，但要说明热处理的部位。

例如：

齿部感应淬火 48 ~ 53HRC 或齿部 G48

爪部渗碳淬火深度 0.8 ~ 1.6nun，58 ~ 63HRC 或 S0.8-C58

9.4　零件的局部需防止热处理时，应在图样上将防止热处理的部位用细实线画出其范围，并标注相应的尺寸和说明，同时在图面空白处或标题栏内写明技术要求。如图 3。



渗碳淬火深度 0.5 ~ 0.8mm，58 ~ 63HRC（局部防渗）或 S0.5 ~ C58（局部防渗）

图　3

机床零件热处理技术条件
第 1 部分：退火、正火、调质（JB/T 8491.1—2008）

1　范围

JB/T 8491 的本部分规定了金属切削机床零件（以下简称零件）退火、正火、调质的技术要求、检验方法与验收规则。

本部分适用于经退火、正火、调质处理的碳素钢、合金钢等零件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 8491 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 224　钢的脱碳层深度测定法

GB/T 231.1　金属布氏硬度试验　第 1 部分　试验方法［GB/T 231.1—2002，eqv ISO 6506：1999（E）］

GB/T 1298—1986　碳素工具钢技术条件（neq ASTM A686：1979）

GB/T 1299—2000　合金工具钢（neq ASTM A 681：1994）

GB/T 6394—2002　金属平均晶粒度测定法（ASTM E112：1996，MOD）

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

GB/T 18254—2002　高碳铬轴承钢

3　外观质量

3.1　零件的表面不得有裂纹及有害的伤痕等缺陷。

3.2　检验外观用肉眼或低倍放大镜观察。

4　表面硬度

4.1　表 1 所示钢号退火后的硬度一般应符合表中的规定。

表 1　常用钢材的退火硬度

钢　　号	布氏硬度　HBW	钢　　号	布氏硬度　HBW
08	≤131	GCr15	179～229
T8、T8A	156～187	GCr15SiMn	
T10、T10A	163～197	9Mn2V	
T12、T12A	170～207	9SiCr	197～241
60	179～229	W18Cr4V	207～255
65Mn		W6Mo5Cr4V2	
50CrVA		2Cr13	156～187
60Si2MnA		3Cr13	163～197

4.2　表 2 所示钢号正火后的硬度一般应符合表中的规定。

表 2　常用钢材的正火硬度

钢　　号	布氏硬度　HBW	钢　　号	布氏硬度　HBW
15	≤143	20CrMnTi	163～207
35	163～207	12CrNi3	
45	170～217	40Cr	179～229
50	179～229	35CrMo	
60	197～255	35CrMnSi	
15CrMo	163～207	35CrMnSiA	
15CrMn	149～187	42CrMo	187～241
20Cr		38CrMoAl	179～229
20CrMo	163～207	38CrMoAlA	

4.3　常用钢号调质后的硬度一般应符合表 3 的规定。

表 3　常用钢材的调质硬度

钢　　号	布氏硬度　HBW
45	200～230
	220～250
	250～280
	270～300

钢　　号	布氏硬度　HBW
50	220～250
T10、T10A	200～230
	220～250
T12、T12A	200～230
	220～250

（续）

钢　号	布氏硬度　HBW	钢　号	布氏硬度　HBW
35CrMo	250～280	38CrMoAl 38CrMoAlA	220～250
40Cr	200～230		250～280
	220～250		270～300
	250～280	65Mn	220～250
	270～300	60Si2MnA	
		2Cr13	
		3Cr13	

4.4　采用本标准以外的钢号或对硬度有特殊要求的零件，其钢号和硬度应符合图样或工艺文件的规定。

4.5　检验硬度应按 GB/T 231.1 规定的方法在零件上测量，当不宜采用规定的方法，也可采用其他硬度试验方法。

5　显微组织

5.1　碳素工具钢零件球化退火后的显微组织按 GB/T 1298—1986 第一、第二级别图评定，珠光体 2～4 级合格。网状碳化物当零件截面尺寸小于或等于 60mm 时，1～2 级合格；当零件截面尺寸大于 60mm 时，1～3 级合格。

5.2　合金工具钢零件球化退火后的显微组织按 GB/T 1299—2000 第一、第二级别图评定，珠光体 2～5 级合格。网状碳化物 1 级～3 级合格。

5.3　高碳铬轴承钢零件球化退火后的显微组织按 GB/T 18254—2002 第六、第七级别图评定，珠光体 2～5 级合格。网状碳化物 1～2 级合格。

5.4　碳素结构钢、合金结构钢零件正火后的显微组织应为均匀分布的铁素体加片状珠光体。晶粒度按 GB/T 6394—2002 第一级别图评定，5～8 级合格。

5.5　碳素结构钢、合金结构钢零件调质后表层的显微组织一般为回火索氏体和小于或等于 5% 的铁素体。

5.6　零件退火、正火、调质后的脱碳层按 GB/T 224 规定的方法检验，表面脱碳层深度应小于单面加工余量的三分之一。

5.7　检验显微组织按 GB/T 13298 规定的方法在同炉处理的试样上观察，当有异议时需在零件上观察。

6　畸变

6.1　零件的畸变量应符合图样或工艺文件的规定。

6.2　畸变量超差的零件一般可进行校正，精度稳定性要求高的零件校正后应进行消除应力处理。

7　验收规则

7.1　零件应达到技术要求中规定的有关指标方为合格。

7.2　外观质量、表面硬度、畸变属必检项目，每炉零件都应进行检验，其余属抽检项目，抽检项目应在工艺文件中注明。

机床零件热处理技术条件
第 2 部分：淬火、回火（JB/T 8491.2—2008）

1　范围

JB/T 8491 的本部分规定了金属切削机床零件（以下简称零件）淬火、回火的技术要求、检验

方法与验收规则。

本部分适用于在加热炉中穿透加热淬火、回火处理，表面硬度等于或大于 35HRC 的钢制零件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 8491 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 224　钢的脱碳层深度的测定法

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）[ISO 6508-1：1999 Metallic materials - Rockwell hardness test—Part 1：Test method（scales A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、、T），MOD]

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

JB/T 1255—2001　高碳铬轴承钢　滚动轴承零件热处理技术条件

JB/T 9211　中碳钢与中碳合金结构钢马氏体等级

3　外观质量

3.1　零件的表面应清洁，不允许有裂纹、烧伤及超过加工余量的麻点、锈蚀和碰伤，在无氧化条件下处理的零件其表面一般应无氧化色泽。

3.2　检验外观用肉眼或低倍放大镜观察，必要时可采用浸油喷砂法或无损检测法检验裂纹。

4　表面硬度

4.1　零件的表面硬度应符合图样和工艺文件的规定。表面硬度偏差一般为 $^{+5}_{0}$HRC。

4.2　质量≤5kg 的重要零件，单件的表面硬度一致性应≤3HRC；质量 >5～30kg 的重要零件，单件的表面硬度一致性应≤4HRC。

4.3　检验硬度应按 GB/T 230.1 规定的方法在零件有代表性的工作表面测量，当不宜采用规定的方法时，也可采用其他硬度试验方法。

5　淬硬区尺寸

局部淬火的零件其淬硬区的尺寸偏差应符合表 1 的规定，对淬硬区尺寸有特殊要求的零件应按工艺文件执行。

表 1　局部淬火零件淬硬区的尺寸偏差　　（单位：mm）

零件直径或有效厚度	淬硬区长度	淬硬区尺寸偏差
<30	<20	±（淬硬区长度的 1/2）
	≥20	±10
30～60	<30	±（淬硬区长度的）1/2
	≥30	±15
>60	<40	±（淬硬区长度的 1/2）
	≥40	±20

6　显微组织

6.1　中碳结构钢、中碳合金结构钢零件淬火后的显微组织按 JB/T 9211 评定，马氏体 1～5 级合格；弹簧钢零件，马氏体 1～4 级合格。

6.2　碳素工具钢、合金工具钢零件淬火、回火及高速钢零件淬火后的显微组织应满足合同方的要求。

6.3　滚铬轴承钢零件淬火、回火后的显微组织按 JB/T 1255—2001 第二级别图评定，重要零件 1 级 ~3 级合格，一般零件 1 ~5 级合格。

6.4　零件淬火、回火后的脱碳层按 GB/T 224 规定检验，表面脱碳层深度应小于单面加工余量的三分之一。

6.5　按 GB/T 13298 规定的方法，在零件有代表性的部位或试样上检验显微组织。

7　力学性能

7.1　弹性零件的力学性能应符合图样规定。

7.2　各项力学性能的检验方法应符合有关标准的规定。

8　畸变

8.1　零件的畸变量应符合图样或工艺文件的规定。

8.2　畸变量超差的零件一般可以校正，精度稳定性要求高的零件校正后应进行消除应力处理。

9　验收规则

9.1　零件应达到技术要求中规定的有关指标方为合格。

9.2　外观质量、表面硬度、畸变属必检项目，每批零件都应进行检验，其余属抽检项目，抽检项目应在工艺文件中注明。

机床零件热处理技术条件
第 3 部分：感应淬火、回火（JB/T 8491.3—2008）

1　范围

JB/T 8491 的本部分规定了金属切削机床零件（以下简称零件）感应淬火、回火的技术要求、检验方法与验收规则。

本部分适用于经感应淬火、回火处理的结构钢、工具钢、轴承钢等零件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 8491 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）[ISO 6508-1：1999 Metallic materials – Rockwell hardness test—Part 1：Test method（scales A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T），MOD]

GB/T 5617　钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定（GB/T 5617—2005，ISO 3754：1976，NEQ）

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

JB/T 1255—2001　高碳铬轴承钢　滚动轴承零件热处理技术条件

JB/T 9204　钢件感应淬火金相检验

3　外观质量

3.1　零件的表面应清洁，不允许有裂纹、烧伤、锈蚀和碰伤等缺陷。

3.2　检验外观用肉眼或低倍放大镜观察，必要时可采用浸油喷沙法或无损检测法检验裂纹。

4　表面硬度

4.1　零件的表面硬度应符合图样和工艺文件的规定。表面硬度偏差一般为 $^{+5}_{0}$HRC。

4.2　表面硬度 >50HRC 的重要零件，单件表面硬度的一致性应≤4HRC。

4.3　检验硬度应按 GB/T 230.1 规定的方法在零件有代表性的工作表面上测量。当不宜采用规定的方法时，也可采用其他硬度试验方法。

5　有效硬化层深度

5.1　零件的有效硬化层深度应符合图样和工艺文件的规定，有效硬化层深度极限偏差见表 1。

5.2　有效硬化层深度一致性不应超过表 2 的规定，但形状复杂和大型的零件允许有较大的波动范围。

表 1　有效硬化层深度极限偏差　　（单位：mm）

公称深度	深度极限偏差	公称深度	深度极限偏差
0.6	+0.6 0	2.0	+1.6 0
0.8	+0.8 0	2.5	+1.8 0
1.0	+1.0 0	3.0	+2.0 0
1.3	+1.1 0	4.0	+2.5 0
1.6	+1.3 0	5.0	+3.0 0

表 2　有效硬化层的深度一致性　　（单位：mm）

有效硬化层深度	深度一致性	
	单　　件	同批件
≤1.5	0.2	0.4
>1.5 ~2.5	0.4	0.6
>2.5 ~3.5	0.6	0.8
>3.5 ~5.0	0.8	1.0
>5.0	1.0	1.2

注：同批件系指用同炉号材料经同批处理的一批零件。

5.3　按 GB/T 5617 规定的方法，在零件或模拟试样上测量有效硬化层深度。

6　淬硬区、软带或未淬区的部位与尺寸

6.1　淬硬区的部位应符合图样和工艺文件的规定，淬硬区范围的尺寸极限偏差一般为：中频 ±5mm；超音频及高频 ±4mm。

6.2　软带或未淬区的尺寸

6.2.1　淬硬层表面有槽、孔时，在槽、孔附近和零件端部的软带或未淬区的宽度 A（见图 1）为：中频小于或等于 12mm；超音频、高频小于或等于 8mm。

6.2.2　附梯轴小圆外径淬硬时，在阶梯处的环形软带或未淬区宽度 A（见图 2）应符合表 3 的规定。

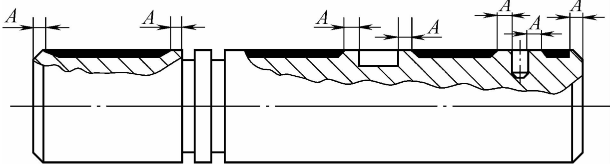


图 1　槽、孔附近和零件端部的软带或未淬区的宽度

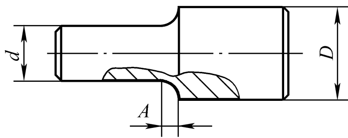


图 2　阶梯处的环形软带或未淬区宽度

表 3　阶梯轴阶梯处软带宽度　（单位：mm）

加热设备	阶梯轴大、小圆直径差 $D-d$	
	≤20	>20
	软带或未淬区宽度 A	
中频	≤10	≤15
超音频、高频	≤8	≤12

6.2.3　淬硬层下部有孔，且最小壁厚 b 小于有效硬化层深度 5 倍时，其淬硬区的软带或未淬区宽度 A（见图 3）应不大于孔的深度。

6.2.4　淬硬区不能一次连续淬火时，在接头处的软带或未淬区宽度 A、B（见图 4），其指标应符合表 4 的规定。

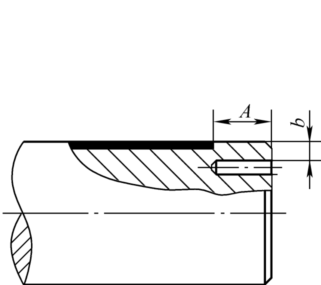


图 3　淬硬层下部有孔，淬硬区的软带或未淬区宽度

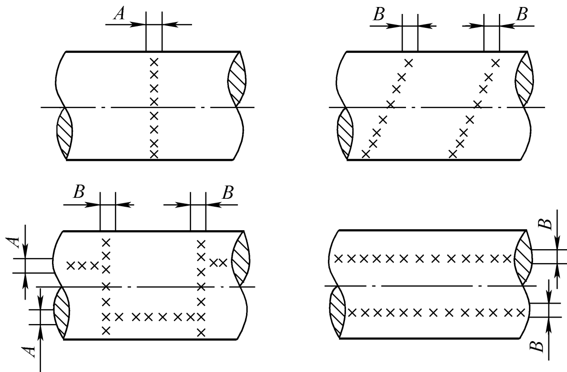


图 4　接头处的软带或未淬区宽度

表 4　淬硬区接头处软带宽度　（单位：mm）

加热设备	软带或未淬区宽度	
	A	B
中频	≤25	≤15
超音频、高频	≤12	≤10

6.2.5　法兰盘内端面淬硬时，在相邻轴颈周围的环形软带或未淬区宽度 A（见图 5）为：中频小于或等于 12mm；超音频、高频小于或等于 8mm。

6.2.6　两相交面均淬硬时，在相交面的软带或未淬区宽度 A（见图 6）为：中频小于或等于 15mm；超音频、高频小于或等于 8mm。

6.2.7　深孔表面淬硬且淬硬处距端面大于或等于 200mm 或锥孔的大、小圆内径差 $D-d$ 大于或等于 10mm 时，其接头处的环形软带或未淬区宽度 A（见图 7）为：中频小于或等于 25mm；超音频、高频小于或等于 12mm。

6.2.8　孔径大于 200mm 的内孔表面淬硬时，轴向的软带或未淬区宽度 A（见图 8）为：中频小于或等于 25mm；超音频、高频小于或等于 12mm。

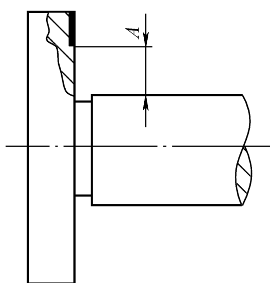


图 5　相邻轴颈周围的环形软带或未淬区宽度

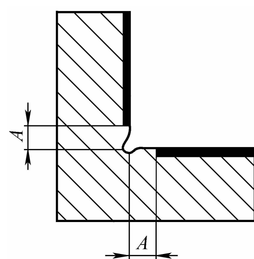


图 6　在相交面的软带或未淬区宽度

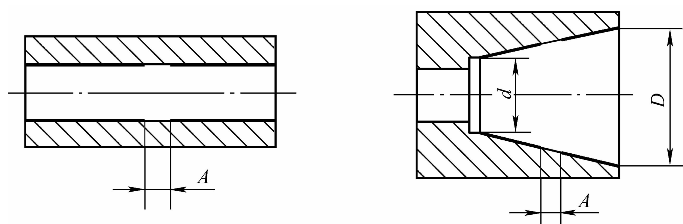


图 7　深孔与锥孔接头处的环形软带或未淬区宽度

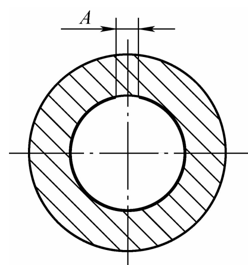


图 8　轴向的软带或未淬区宽度

7　显微组织

7.1　中碳结构钢及中碳合金结构钢零件感应淬火、回火后的显微组织按 JB/T 9204 评定，3～7 级合格。

7.2　碳素工具钢、合金工具钢零件感应淬火、回火后的显微组织应满足合同方要求。

7.3　滚铬钢零件感应淬火、回火后的显微组织参照 JB/T 1255—2001 第二级别图评定，重要零件 1～3 级合格，一般零件 1～7 级合格。

7.4　按 GB/T 13298 规定的方法，在零件有代表性的部位或模拟试样上检验显微组织。

8　畸变

8.1　零件的畸变量应符合图样或工艺文件的规定。

8.2　畸变量超差的零件一般可以校正，精度稳定性要求高的零件校正后应进行消除应力处理。

9　验收规则

9.1　零件应达到技术要求中规定的有关指标方为合格。

9.2　外观质量、表面硬度、畸变、淬硬区的部位及软带尺寸属必检项目，每炉零件都应进行检验，其余属抽检项目，抽检项目应在工艺文件中注明。

机床零件热处理技术条件
第 4 部分：渗碳与碳氮共渗、淬火、回火（JB/T 8491.4—2008）

1　范围

JB/T 8491 的本部分规定了金属切削机床零件（以下简称零件）渗碳与碳氮共渗、淬火、回火的技术要求、检验方法与验收规则。

本部分适用于经渗碳与碳氮共渗、淬火、回火处理，含碳量小于 0.30% 的碳素结构钢、合金结构钢等零件。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 8491 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 230.1　金属洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）[ISO 6508-1：1999 Metallic materials – Rockwell hardness test-Part 1：Test method（scales A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T），MOD]

GB/T 6394　金属平均晶粒度测定法（ASTM E 112：1996，MOD）

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 13298　金属显微组织检验方法

QC/T 262　汽车渗碳齿轮金相检验

QC/T 29081　汽车碳氮共渗齿轮金相检验

3　外观质量

3.1　零件的表面应清洁，不允许有裂纹、烧伤、麻点和碰伤等缺陷。

3.2　检验外观用肉眼或低倍放大镜观察，必要时可采用浸油喷砂法或无损检测法检验裂纹。

4　表面硬度

4.1　零件的表面硬度应符合图样和工艺文件的规定。表面硬度偏差一般为 $^{+5}_{0}$HRC。

4.2　表面硬度的一致性不应超过表 1 的规定。

表 1　表面硬度 HRC 一致性

零件种类	单　件	同　批
重要件	3	5
一般件	4	5

注：同批件系指用同炉号材料经同炉处理的一批零件。

4.3　钻孔等配作部位的硬度一般不超过 35HRC。

4.4　检验硬度应按 GB/T 230.1 规定的方法在零件有代表性的工作表面上测量。当不宜采用规定的方法时，也可采用其他硬度试验方法。

5　硬化层深度

5.1　零件的硬化层深度应符合图样和工艺文件的规定，硬化层深度极限偏差见表 2。

表 2　硬化层深度极限偏差　（单位：mm）

公称深度	深度偏差	公称深度	深度偏差
0.3	$^{+0.2}_{0}$	1.2	$^{+0.5}_{0}$
0.5	$^{+0.3}_{0}$	1.6	
0.8	$^{+0.4}_{0}$	2.0	

5.2 零件的硬化层深度一致性不应超过表3的规定。

表3 硬化层深度一致性 （单位：mm）

硬化层深度	深度一致性	
	单件	同批件
≤0.5	0.1	0.2
>0.5~1.5	0.2	0.3
>1.5~2.5	0.3	0.4

注：同批件系指用同炉号材料经同炉处理的一批零件。

5.3 硬化层深度的界限值为550HV1。

5.4 检验硬化层深度按GB/T 9450规定的方法用同炉试样测量。

6 显微组织

6.1 渗碳与碳氮共渗后零件的心部晶粒度按GB/T 6394检验，5~8级合格。

6.2 渗碳淬火、回火后，渗层表面的显微组织按QC/T 262评定，1~4级合格。

6.3 渗碳感应淬火、回火后，渗层表面的显微组织应满足合同方要求。

6.4 碳氮共渗淬火、回火后的显微组织按QC/T 29081评定，1~5级合格。

6.5 检验显微组织按GB/T 13298规定的方法在同炉试样上观察，当有异议时需在零件上观察。

7 畸变

7.1 零件的畸变量应符合图样或工艺文件的规定。

7.2 畸变量超差的零件一般可以校正，精度稳定性要求高的零件校正后应进行消除应力处理。

8 验收规则

8.1 零件应达到技术要求中规定的有关指标方为合格。

8.2 外观质量、表面硬度、畸变、硬化层深度属必检项目，每炉零件都应进行检验，其余属抽检项目，抽检项目应在工艺文件中注明。

机床零件热处理技术条件
第5部分：渗氮、氮碳共渗（JB/T 8491.5—2008）

1 范围

JB/T 8491的本部分规定了金属切削机床零件（以下简称零件）渗氮、氮碳共渗的技术要求、检验方法与验收规则。

本部分适用于经气体渗氮、离子渗氮和氮碳共渗处理的钢、铁零件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过JB/T 8491的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 4340.1 金属维氏硬度试验 第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—1999，eqv ISO 6507.1：1997）

GB/T 11354 钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验

3 外观质量

3.1 零件的表面应呈银灰色或暗灰色，不应有剥落、碰伤及电弧烧伤等缺陷。

3.2　检验外观用肉眼或低倍放大镜观察。

4　表面硬度

4.1　渗氮后的成品零件表面硬度应不低于表1的规定。

表1　常用材料渗氮表面硬度

钢　号	硬度　HV	钢　号	硬度　HV
20Cr	550	40Cr	500
20CrMo		38CrMoAlA	850
20CrMnTi	600	2Cr13	
35CrMo	550	1Cr18Ni9Ti	900
42CrMo		QT600-3	500

4.2　渗氮表面硬度的一致性不应超过表2的规定。

表2　表面硬度HV一致性

单　件		同　批	
≤600	>600	≤600	>600
45	60	70	100

注：同批件系指用同炉号材料经同炉处理的一批零件。

4.3　氮碳共渗后的成品零件表面硬度应不低于表3的规定。

表3　常用材料氮碳共渗表面硬度和渗层深度

钢　号	硬度 HV0.1	渗层深度/mm	
		化合物	扩散层
45	480	0.010～0.025	≥0.20
20CrMo	550		≥0.15
20CrMnTi	600		
35CrMo	550		
40Cr	500		
QT600-2	550	0.005～0.020	≥0.10
HT200			

4.4　用本部分以外材料制造的零件，其硬度应符合图样或工艺文件规定。

4.5　局部防渗部位的硬度应不影响零件的切削加工性能和使用性能。

4.6　硬度应在零件上测量，当条件不允许时也可以采用试样。渗氮零件的表面硬度按GB/T 4340.1规定的方法测量，试验力采用9.8～98N；氮碳共渗零件的表面硬度采用0.49～0.98N试验力测量。

5　脆性

脆性按GB/T 11354评定，重要零件1～2级合格，一般零件1～3级合格。

6　渗层深度

6.1　成品零件的渗氮层深度应符合图样和工艺文件的规定，渗氮层深度极限偏差见表4。

表4 渗氮层深度极限偏差 （单位：mm）

公称深度	深度极限偏差	公称深度	深度极限偏差
0.15	$^{+0.10}_{0}$	0.40	$^{+0.15}_{0}$
0.30		0.50	
		0.60	

6.2 成品零件的渗氮层深度一致性不应超过表5的规定。

表5 渗氮层深度一致性 （单位：mm）

渗氮层深度	深度一致性	
	单 件	同 批 件
≤0.30	0.05	0.10
>0.30～0.60	0.10	0.15
>0.60	0.15	0.20

注：同批件系指用同炉号材料经同炉处理的一批零件。

6.3 渗氮后不再进行磨削加工的零件，其化合物层深度应不大于0.03mm。

6.4 氮碳共渗的渗层深度应符合表3规定。

6.5 渗氮层深度应按GB/T 11354规定的方法在同炉处理的试样上测量，当有异议时须用零件测量。

7 氮化物形态

氮化物形态按GB/T 11354评定，重要零件1～2级合格，一般零件1～3级合格。

8 疏松

氮碳共渗零件的疏松按GB/T 11354评定，重要零件1～2级合格，一般零件1～3级合格。

9 畸变

零件的畸变量应符合图样或工艺文件的规定，不允许冷校正。

10 验收规则

10.1 零件应达到技术要求中规定的有关指标方为合格。

10.2 外观质量、表面硬度、渗层深度、畸变属必检项目，每炉零件都应进行检验，其余属抽检项目，抽检项目应在工艺文件中注明。

第七章　热处理工艺材料标准

第一节　热处理用盐

一、概论

热处理用盐熔融后形成液态介质，用于热处理加热或冷却。盐浴加热具有少或无氧化脱碳，加热速度快，温度均匀性好，工作温度范围宽，灵活性大，便于局部加热等特点，适宜多品种小批量生产，尤其在工模具行业广泛应用；盐浴还用于分级淬火和等温淬火的冷却，显著减少热处理畸变。

由于盐浴所产生的蒸汽、废水、废渣会对环境造成危害，盐浴热处理正不断被先进的热处理技术所代替，但由于盐浴热处理很多优点，以及对盐浴的蒸汽、废渣、废水施行无害化处理技术进步，目前国内外，盐浴热处理尚在使用。

工件在盐浴中热处理的质量，主要与加热用盐的品质有关。在盐的加热性能低劣的情况下，高、中温盐浴可造成被处理件强烈氧化、脱碳，低温盐浴可造成被处理件严重腐蚀。

先进工业化国家都很重视热处理用盐的质量，纷纷制定热处理用盐的国家标准或企业标准，如美国军标的 MIL-S-10699 金属热处理用盐，德国德固萨公司的企业标准等。国外热处理用盐都是专供热处理用的混合盐，按使用温度和场合分成若干级。我国的热处理用盐主要是单组分的盐，使用时根据使用温度和场合按一定比例配制。为了使我国热处理与国际接轨，在制定此标准时，主要技术要求参照了美国军标（MIL-S-10699），使该标准达到国际先进水平。

二、标准应用说明

（1）JB/T 9202—1999 中盐的化学成分主要采用工业用盐标准的化学成分。考虑到热处理盐浴的特殊性，热处理用盐在熔化状态使用，其杂质硝酸盐、硫酸盐、碳酸盐、氯化物、钙镁铁、水不溶物等，以及 pH 值，对工件表面产生有害影响，如表 7. 1-1 所示，在美国军标中对上述杂质和 pH 值都提出了明确要求，如表 7. 1-2 所示。本次修订参考了美国军标对不同盐分解，提出了硝酸盐、硫酸盐、碳酸盐、氯化物、钙镁铁、水不溶物等杂质的含量限度要求，也提出了 pH 值的要求。

表 7. 1-1　盐中杂质与钢的作用及对热处理质量的影响

杂质	化学反应	对工作质量的影响
硫酸盐	$4Fe + Na_2SO_4 = 3Fe + Na_2O + FeS$ $2Fe + 2Na_2SO_4 = 2FeS + 3O_2 + 2NaO$ $2Na_2SO_4 = 2Na_2O + 2SO_2 + O_2$	使工件产生氧化脱碳和侵蚀
碳酸盐	$Na_2CO_3 = Na_2O + CO_2$ $Fe + CO_2 = FeO + CO$ $C_{(\gamma\text{-}Fe)} + CO_2 = 2CO$	

（续）

杂质	化学反应	对工作质量的影响
水分和氧	$Fe + H_2O = FeO + H_2$ $C_{(\gamma\text{-}Fe)} + H_2O = CO + H_2$ $Fe + 1/2O_2 = FeO$ $C_{(\gamma\text{-}Fe)} + 1/2O_2 = CO$	使工件产生氧化脱碳
反应生成的 Cl_2、HCl	$Fe_3O_4 + 3Cl_2 = 3FeCl_2 + 2O_2$ $Fe_3O_4 + 8HCl = 3FeCl_2 + 3H_2O + Cl_2$	对钢表面氧化膜和基体侵蚀

表 7.1-2　美军标热处理用盐杂质要求（质量分数）　　（%）

类别	1类	2类	3类	4类	4A类	5类	6类	7类	8类
成分	37～50$NaNO_2$ 0～10$NaNO_3$ 50～60KNO_3	45～57$NaNO_3$ 45～57KNO_3	45～55Na_2CO_3 45～55KCl	15～25NaCl 20～32KCl 50～60$BaCl_2$	10～15NaCl 25～30KCl 40～45$BaCl_2$ 15～20$CaCl_2$	40～60NaCl 40～60KCl	5～15KCl 85～95$BaCl_2$	≥98$BaCl_2$	3～7NaCl 93～97$BaCl_2$
水分（最大量）	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
水不溶解物（最大量）	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	—	0.10
氯化物(最大量)	0.30	0.30	—	—	—	—	—	—	—
硫酸盐(最大量)	0.10	0.18	0.18	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
总氮量(最大量)	—	—	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
亚硝酸盐	—	0.05	—	—	—	—	—	—	—
碳酸盐(最大量)	0.05	0.05	—	0.05	—	0.05	—	—	—
氰化物（最大量）	无	无	无	无	无	无	无	无	无
二氧化硅（最大量）	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05
总碱土金属（最大量，如Mg、Ca、Sr、Ba的氧化物）	0.10	0.10	0.05	—	—	0.05	—	—	—

（2）盐的化学成分检验方法尽量采用最新国标，并优先使用各种工业盐标准中指标的试验方法，当不能满足本标准检验项目和检验条件时，则选用制盐工业的通用试验方法。最终确定的检验方法标准见本标准表3。

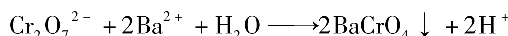
（3）pH值测定按GB/T 9724规定的试验方法进行，而GB/T 9724规定的测试溶液为5%水溶液，考虑到采用1%溶液效果更好的使用经验，本标准规定pH值测定按GB/T 9724规定的试验方法进行，但测试溶液不用5%水溶液，而采用1%水溶液。

（4）关于本标准中表3脚注中的化学成分计算时换算系数的规定，是由于分析项目表示方法与原引用标准不同而特殊说明的。如GB/T 1617中铬酸盐换算成$BaCl_2 \cdot 2H_2O$的系数为0.9642，本标准中铬酸盐换算成$BaCl_2$的系数为0.8220；又如GB/T 4553中每毫克当量Na_2CO_3的克数为0.0530，而本标准每毫克当量CO_3^{2-}的克数为0.03，Cl^-、NO_2^-离子的换算系数也是如此。换算系数具体换

算方法如下：

1）铬酸钡换算成无水氯化钡的系数为0.8220。

解：因反应式如下



$$Cr_2O_7^{2-}+2Ba^{2+}+H_2O\longrightarrow 2BaCrO_4\downarrow+2H^+$$

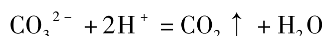
$$\frac{BaCl_2}{BaCrO_4}=\frac{208.24}{253.32}=0.8220$$

$$\frac{BaCl_2+2H_2O}{BaCrO_4}=\frac{244.26}{253.32}=0.9642$$

故铬酸钡换算成无水氯化钡的系数为0.8220。

2）每毫克当量碳酸根的克数为0.03

解：因反应式如下



$$CO_3^{2-}+2H^+=CO_2\uparrow+H_2O$$

CO_3^{2-}的当量为

$$\frac{f_{CO_3^{2-}}}{2}=\frac{12.011+15.9994\times 3}{2}=30.0046$$

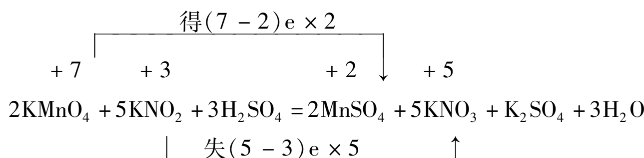
故每毫克当量碳酸根的克数为0.03。

3）每毫克当量氯离子的克数为0.03545

因氯的原子量为35.45，故每毫克当量氯离子的克数为0.03545。

4）每毫克当量亚硝酸根的克数为0.02300

解：因反应式如下



$$2KMnO_4+5KNO_2+3H_2SO_4=2MnSO_4+5KNO_3+K_2SO_4+3H_2O$$

其中，n为每一式量还原剂（氧化剂）在反应中得（失）电子数。

$$\underset{（还原剂）}{氧化剂当量}\ E=\frac{\underset{（还原剂）}{氧化剂式量}}{n}$$

而NO_2^-在本反应中每一式量失去电子数为2。

$$f_{NO_2^-}=14.0067+15.9994\times 2=46.0055$$

故 $E=\frac{46.0055}{2}=23.0028$

所以每毫克当量亚硝酸根的克数为0.02300。

（5）硝酸盐（以NO_3^-计）检验方法采用GB/T 609规定的方法，但其标准溶液应改为NO_3^-杂质标准溶液（1mL溶液含有0.1mgNO_3^-），并根据GB/T 609规定提供配制方法。

（6）对于无水氯化钡GB/T 13025.3中规定的烘干温度为140℃±2℃，根据多年的实际经验，对无水氯化钡中水分测定时应采用较高的烘干温度，以150℃～155℃为宜，所以本标准采用了150℃～155℃的烘干温度。

（7）氯化盐加热性能的检验方法以附录来表示，使标准更简洁、紧凑、方便使用。本标准在保证化学成分、pH值、外观质量均满足要求的前提下，加热性能检验可以不进行。与原标准相比，本标准根据原标准的经验对氯化盐加热性能的规定有所放宽，因为原标准在过去执行过程中在化学

成分、pH 值和外观质量合格条件下，很多都没有进行加热性能检验，也有很多只作氯化盐加热性能合格，而不作化学成分、pH 值检验，但实际使用效果良好，能保证工件的热处理质量。因此本次修订适当放宽检验要求。

（8）本标准补充和完善了热处理用盐的检验规则，不但明确了技术要求、检验方法，而且规定了组批规则、检验项目及取样数量和部位、判定与复验规则等，使供需双方协调一致，有章可循，有利于提高热处理用盐的质量。（北京航空材料研究院王广生供稿）

三、标准内容（JB/T 9202—2004）

热处理用盐

1 范围

本标准规定了热处理用盐（无水氯化钡、氯化钾、氯化钠、硝酸钾、硝酸钠、亚硝酸钠）的技术要求、检验方法、检验规则以及包装、标志、贮存和运输等。

本标准适用于热处理加热和冷却盐浴用盐（以下简称盐）。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 190　危险货物包装标志

GB/T 191　包装储运图示标志（GB/T 191—2000，eqv ISO 780：1997）

GB/T 223.1　钢铁及合金中碳量的测定

GB/T 609　化学试剂　总氮量测定通用方法（GB/T 609—1988，idt ISO 6353-1：1982）

GB/T 646　化学试剂　氯化钾（GB/T 646—1993，neq ISO 6353-3：1987R77）

GB/T 652　化学试剂　氯化钡（GB/T 652—1988，neq ISO 6353-2：1983R6）

GB/T 1266　化学试剂　氯化钠

GB/T 1298　碳素工具钢　技术条件（GB/T 1298—1986，neq ASTMA 686：1979）

GB/T 1617　工业氯化钡（GB/T 1617—2002，neq JIS K 1414：1992）

GB/T 1918　工业硝酸钾（GB/T 1918—1998，neq MIL P-156（B）：1956）

GB 2367　工业亚硝酸钠（GB 2367—1990，neq ГОСТ 19906：1985）

GB/T 3049　化工产品中铁含量测定的通用方法　邻菲啰啉分光光度法（GB/T 3049—1986，neq ISO 6685：1982）

GB/T 4553　工业硝酸钠

GB/T 6679　固体化工产品采样通则

GB/T 9724　化学试剂　pH 值测定通则（GB/T 9724—1988，neq ISO 6353-1：1982 GM31.3）

GB/T 13025.3　制盐工业通用试验方法　水分的测定

GB/T 13025.4　制盐工业通用试验方法　水不溶物的测定

GB/T 13025.6　制盐工业通用试验方法　钙和镁离子的测定

GB/T 13025.8　制盐工业通用试验方法　硫酸根离子的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1　脱碳试样的质量变化率　mass varying rate for the decarburizied sample

加热前后脱碳试样质量变化的绝对值与加热前试样质量之比的百分率。

3.2　原始含碳量　original carbon content

试样加热前的含碳量。

3.3　残留含碳量　residual carbon content

试样加热后的含碳量。

3.4　脱碳率　decarburization rate

试样原始含碳量和残留含碳量的差值与试样原始含碳量之比的百分率。

4　技术要求

4.1　化学成分要求

盐的化学成分应符合表1规定。

表1　盐的化学成分

指标项目	质量分数(%)					
	无水氯化钡	氯化钾	氯化钠	硝酸钾	硝酸钠	亚硝酸钠
纯度	≥99.0	≥98.0	≥98.0	≥98.7	≥98.7	≥99.0
硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计)	≤0.10	≤0.05	≤0.05	≤0.18	≤0.18	≤0.10
碳酸盐(以 CO_3^{2-} 计)	—	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.05	—
硝酸盐(以 NO_3^- 计)	≤0.05	≤0.05	≤0.05	—	—	—
氯化物(以 Cl^- 计)	—	—	—	≤0.30	≤0.30	≤0.30
亚硝酸盐(以 NO_2^- 计)	—	—	—	≤0.05	≤0.05	—
钙镁铁总量	—	≤0.10	≤0.10	≤0.10	≤0.10	—
水不溶物	≤0.10	≤0.10	≤0.10	≤0.10	≤0.10	≤0.10
水分	≤1.00	≤1.00	≤1.00	≤0.50	≤0.50	≤0.50

4.2　pH值

盐的酸碱性应接近中性，pH = 6.5 ~ 8.5。

4.3　外观质量

盐的外观为白色结晶粉末，亚硝酸钠可略带淡黄色。盐应无可见杂物。

4.4　氯化盐的加热性能

氯化盐的加热性能应符合表2规定。

表2　氯化盐的加热性能

名　称	加热性能	
	箔片质量变化率 ΔW_P(%)	箔片脱碳率 ΔC_P(%)
无水氯化钡	≤2.00	≤30.0
氯化钠	≤1.00	≤10.0
氯化钾	≤1.00	≤5.0

5　检验方法

5.1　化学成分

盐的化学成分检验方法按表3的规定执行。

表 3 盐的化学成分检验方法

项目	无水氯化钡	氯化钾	氯化钠	硝酸钾	硝酸钠	亚硝酸钠
纯度	GB/T 1617①	GB/T 646	GB/T 1266	GB/T 1918	GB/T 4553	GB 2367
硫酸根	GB/T 13025.8	GB/T 13025.8	GB/T 13025.8	GB/T 4553	GB/T 4553	GB/T 4553
碳酸根	—	GB/T 4553②	GB/T 4553②	GB/T 4553②	GB/T 4553②	—
氯化物	—	—	—	GB/T 1918③	GB/T 4553③	GB 2367③
亚硝酸根	—	—	—	GB/T 4553④	GB/T 4553④	—
硝酸根	GB/T 609⑤	GB/T 609⑤	GB/T 609⑤	—	—	—
钙	—	GB/T 13025.6	GB/T 13025.6	GB/T 4553	GB/T 4553	—
镁	—	GB/T 13025.6	GB/T 13025.6	GB/T 4553	GB/T 4553	—
铁	—	GB/T 3049	GB/T 3049	GB/T 1918	GB/T 4553	—
水不溶物	GB/T 1617	GB/T 13025.4	GB/T 13025.4	GB/T 1918	GB/T 4553	GB 2367
水分	GB/T 13025.3⑥	GB/T 13025.3	GB/T 13025.3	GB/T 1918	GB/T 4553	GB 2367

① 铬酸钡换算成无水氯化钡的系数为 0.8220。

② 每毫克当量碳酸根的克数为 0.03。

③ 每毫克当量氯离子的克数为 0.03545。

④ 每毫克当量亚硝酸根的克数为 0.02300。

⑤ NO_3^- 标准溶液（1mL 溶液含有 1mg NO_3^-）的配制方法为：称取 1.630g 于 120～130℃干燥至恒重之硝酸钾，溶于水，移入 1000mL 容量瓶中，稀释至刻度。

⑥ 无水氯化钡测定水分时的烘干温度为 150～155℃。

5.2 pH 值

盐的 pH 值按 GB/T 9724 规定的试验方法进行测定，将样品用无二氧化碳的水配成 1% 的溶液。

5.3 外观质量

盐的外观质量采用目视检验。

5.4 氯化盐的加热性能

氯化盐的加热性能按附录 A 进行检验。

6 检验规则

6.1 要求

生产厂和使用单位均应按本标准规定的技术要求、检验方法和检验规则，检验产品质量是否符合本标准要求。

6.2 组批规则

盐应按批检验，每批应由同一批原料、使用同一设备、同一工艺连续加工的盐组成，并应用同一个批号标识。每批盐不应超过 6000kg。

6.3 检验项目、取样数量和部位

6.3.1 检验项目

每批盐的检验项目以及相应要求和检验方法应符合表 4 的规定。

表 4 检验项目表

序号	检验项目	要求的章条号	检验方法的章条号
1	化学成分	4.1	5.1
2	pH 值	4.2	5.2

（续）

序号	检验项目	要求的章条号	检验方法的章条号
3	外观质量	4.3	5.3
4	氯化盐的加热性能	4.4	5.4

注：1. 当化学成分、pH 值、外观质量三项检验全部合格时，可不进行加热性能检验。
2. 当加热性能合格时，化学成分、pH 值可不进行检验。

供方应按表 4 检验项目检验，需方可按表 4 检验项目全部或部分检验。

6.3.2　取样数量和部位

6.3.2.1　试样应在每批盐袋数的 5% 中抽取，但不得少于 5 袋。取样时，用不锈钢取样器自包装的中心垂直插入料层深度的 3/4 处取样约 200g。

6.3.2.2　将抽取的各袋样品迅速混匀，按 GB/T 6679 用四分法缩取总量不少于 500g 的均匀样品，分别装入两个清洁、干燥的带磨口塞的广口瓶中，用蜡密封，贴上标签，注明供方名称、产品名称、批号、数量及取样日期。一瓶送交质量检验部门进行检验，一瓶保留两个月备查。

6.4　判定与复验规则

供方和需方应按本标准的规定交付和验收，其指标应符合本标准的要求。检验结果如果有一项指标不符合本标准要求时，应重新取样检验，取样袋数为原袋数的两倍。若重新检验结果仍有指标不符合本标准要求，则该批产品判为不合格，并不得交付和验收。当供需双方对产品质量发生异议时，可由双方协商解决或由仲裁单位仲裁。

7　包装、标志、运输和贮存

7.1　包装、标志

7.1.1　盐采用内衬塑料袋密封，外用塑料编织袋包装，每袋净重不超过 50kg。也可根据需方要求采用其他包装。

7.1.2　外包装袋上应明显标明供方名称、产品名称、批号、生产日期、净重和注册商标。硝酸盐类外包装袋的标志应符合 GB 190 及 GB/T 191 的规定。

7.2　运输和贮存

7.2.1　盐在运输和贮存时严防受潮和散失。

7.2.2　盐在搬运时应小心轻放，防止摩擦、撞击，并应装在铁路棚车或其他带盖的交通工具内运输。硝酸盐应避免与酸碱类物质、易燃、易爆物及其他有机物混贮混运。盐具有吸湿性，贮存盐的仓库应保持通风、干燥。

7.3　质量证明书

热处理用盐由供方的质量检验部门进行检验，供方应保证出厂的产品都符合本标准的要求。每批出厂的产品应附有质量证明书，其内容包括：供方名称、产品名称、标准编号、批号、数量、生产日期、检验结果、检验印章等。

附　录　A

（规范性附录）

氯化盐加热性能检验方法

A.1　脱碳试样（箔片）

A.1.1　箔片原材料采用厚度为 0.08mm ± 0.01mm、宽度为 30mm 的 T10 冷轧钢带。材料化学成分应符合 GB/T 1298 的规定。

A.1.2　由钢带上剪下的箔片，每片长度为 120mm。

A.1.3　箔片应平整、光滑、无飞边、毛刺、锈迹和油污。

A.1.4　取两片箔片，在其长度方向的一端打一个小孔后用无水乙醇清洗、晾干，然后在天平上将两箔片一起称，精确度为0.0001g。该质量为两片箔片加热前的总质量。

A.1.5　用铁丝穿过箔片上的小孔，系牢后平行绑在一个T字形钩上。为使箔片不致在盐浴中上浮和漂动，可在铁丝上加挂一个重物。

A.2　设备、盐浴制备和加热规范

A.2.1　设备

A.2.1.1　加热设备为高温或中温盐浴炉，炉膛尺寸（宽×长×深）一般不小于350mm×450mm×500mm。

A.2.1.2　坩埚用厚度约5mm的1Cr18Ni9Ti钢制造，其内部尺寸为ϕ120mm×340mm。

A.2.2　盐浴制备

A.2.2.1　盐浴用盐的配方、配制质量及所用加热设备应符合表A.1规定。

表A.1　盐浴用盐的配方、配制质量及所用加热设备

试验盐名称	盐浴用盐配方	配制质量/kg	加热设备
无水氯化钡	100%无水氯化钡（试验盐）	10	高温盐浴炉
氯化钠	50%氯化钠（试验盐）+50%氯化钡（试剂）	10	中温盐浴炉
氯化钾	50%氯化钾（试验盐）+50%氯化钡（试剂）	10	

注：氯化钡（试剂）的技术要求应符合GB/T 652的规定。

A.2.2.2　从按表A.1规定配制的盐中先取一部分盛入坩埚，然后将坩埚浸入高温盐浴炉或中温盐浴炉中加热，坩埚浸入深度以盐浴面至容器口上缘约60mm。待坩埚内的盐熔化后，再分次加入配好的盐，直到将配好的盐熔完为止。

A.2.2.3　盐浴应保温1h。高温盐浴保温温度为1230℃±10℃，中温盐浴保温温度为850℃±10℃。

A.2.3　加热规范

箔片加热规范应符合表A.2规定。

表A.2　箔片加热规范

加热设备	箔片加热规范	
	温度/℃	时间/min
高温盐浴炉	1230±10	3
中温盐浴炉	850±10	10

A.3　试验步骤

盐浴预先用热电偶校温，待保温结束后将准备好的两片箔片整个浸入加热容器内的盐浴中加热，浸入深度以箔片上端在盐浴面下约80mm为准。箔片按表A.2规范完成加热后，取出迅速淬水。小心解下箔片，先用蒸馏水洗净表面残盐，再用无水乙醇浸渍，晾干后保存在干燥器中备用。

A.4　试样分析

A.4.1　将同时加热后两片箔片在天平上一起称重，精确度为0.0001g。该质量为箔片加热后的总质量。

A.4.2　将称其质量后的两片箔片剪碎、混匀，然后按GB/T 223.1中的气体容量法分析其含碳量。此含碳量为箔片的残留含碳量。

取同一条钢带上未经加热的箔片两片，同时分析其含碳量。此含碳量为箔片的原始含碳量。

A.5　计算结果

A.5.1　箔片质量变化率 ΔW_P（%）按式（A.1）计算：

$$\Delta W_P(\%) = \frac{|G_0 - G|}{G_0} \times 100\% \tag{A.1}$$

式中　G_0——两片箔片加热前的总质量（g）；

G——两片箔片加热后的总质量（g）。

A.5.2　箔片脱碳率 ΔC_P（%）按式（A.2）计算：

$$\Delta C_P(\%) = \frac{|C_0 - C|}{C_0} \times 100\% \tag{A.2}$$

式中　C_0——箔片原始含碳量（%）；

C——箔片残留含碳量（%）。

第二节　化学热处理渗剂技术条件

一、概论

国外生产的化学热处理渗剂，很多是商品化产品。例如德国 Degussa 公司销售的 Tenifer TF-1 基盐、REG-1 再生盐组成的氮碳共渗剂及 KG6（低活性）、KG30（高活性）两种粒状渗碳剂，德国硬化技术研究所生产 Ekabor 系列粉状渗硼剂和粒状渗硼剂，如法国 HEF 研究所生产 CR4 基盐与 CR2 再生盐组成的硫氮碳共渗剂，英国的专用渗碳油等都有相应的产品质量性能指标和控制要求。因而产品质量稳定，性能好，已销售几十个国家。

我国最近 20 多年，研制了不少渗剂，有的已商品化生产。但相当多的渗剂，尤其是一些量大面广的渗剂或原料，仍借用石化、化工、轻工的通用产品。其中化学成分未考虑化学热处理工艺的特殊要求，有的杂质、有害成分较高，只能凑合使用，如灯用煤油，部分丙烷、丁烷气源等质量因地而异，性能不稳定，影响热处理工艺的实施；承担着渗剂商品化生产的一些小型生产企业，往往产品没有严格的技术指标，又缺乏完善的质量保证体系，导致产品质量不能保证。为了进一步规范相关产品的相关技术要求，提高产品质量及可控性，对《化学热处理渗剂技术条件》标准进行及时修订，以适应我国热处理技术的新发展。

二、标准应用说明

1. 渗剂的技术要求

（1）灯用煤油与 1 号渗碳油。灯用煤油不是渗碳的专业产品，而是借用的石油产品。它主要由 C_{11} ~ C_{17} 烷烃组成。在低于 900℃时，往往分解不够充分，产生低分子烷烃，芳香烃较多，容易形成炭黑和结焦。煤油中各种烃的含量主要取决于原油的组成，不同油田的原油所炼制煤油和渗碳油差异较大。

按 GB 253 标准，1 号灯用煤油中硫含量比 2 号低，色度号也小，推荐使用 1 号灯用煤油，但要保证芳香烃质量分数小于 10%，烷烃也应低。1 号渗碳油中硫与芳香烃含量都较低，是经精炼加入少量阻聚剂合成的，比灯用煤油裂解成分稳定、碳势高，渗速较快，炭黑少，故推荐作为渗剂使用。

（2）丙烷、丁烷液化石油气。丙烷、丁烷液化石油气是石油的副产品，目前我国气源成分波动较大，也因产地、货源不同，成分各异，有的石油厂生产的丙（丁）烷纯度较高，可达 95% 以上，而有些企业一般质量分数只有 85% ~90%。我国多数使用丙烷气氛渗碳的企业，都认为丙

（丁）烷的质量分数应在90%以上较好，其中C_5以上重烃的质量分数要小于3%，硫的质量分数不应高于0.01%，才符合渗碳要求。

（3）固体渗碳剂。固体渗碳剂在我国应用仍然较多。JB/T 9203《固体渗碳剂》中，提出了渗剂配方、有害杂质含量、安全及化学分析方法等内容，本标准引用其渗剂成分要求。

（4）硼砂熔盐渗铬、渗矾剂。其中硼砂为加热载体，铬或矾在组分中的含量对渗铬或渗矾起决定作用。经大量实践确定，铬或矾的质量分数大于或等于5%；三氧化二铬或五氧化二矾的质量分数小于或等于1%。连续工作过程中，铬的质量分数不应小于2%，三氧化二铬的质量分数不应大于3%；矾的质量分数不应小于1.5%，五氧化二矾的质量分数不应大于3%。

（5）盐浴硫氮碳共渗剂。该共渗剂已实现商品化生产。J-1基盐中CNO^-的质量分数40%，CN^-的质量分数小于0.3%，S^{2-}的质量分数大于等于10×10^{-4}%。其中CN^-含量低，是保证废渣及清洗废液稍加药剂中积，即可达到CN^-低于5mg/L的排放标准。CNO^-含量与S^{2-}含量是保证渗剂活性的主要指标，CNO^-太高，将导致共渗层的组织疏松。

2. 渗剂安全与环保要求

查阅了国外化学热处理标准，其中涉及有安全要求的标准不少，有的要求既严格又全面。如ГОСТ 19905《强化金属零件表面的化学热处理通用要求》、ГОСТ 12.3004《金属热处理通用安全要求》。我国一些单位对安全往往忽视，尤其是一些民营企业，对于安全的重视程度不够。为此，本标准参考国内外标准与资料，从渗剂的生产、使用、运输、储存等各环节，提出了六条原则要求。

3. 贯彻本标准应注意几个问题

在生产和选择渗剂时，应贯彻本标准中规定的渗剂化学性能、物理性能及使用性能要求，并对渗剂进行使用试验，使处理的产品达到规定的渗层深度、组织、表面硬度或其他性能要求。用户也可按本标准进行验收，不符合渗剂的技术要求，有权拒收或退货。

本标准是我国机械行业通用的热处理标准，所规定的技术条件也具有一般性，标准中提出的化学成分指标，是必须达到的。专业生产企业或用户可根据自己的生产水平和现状，对标准中的技术指标加以提高，以保证产品优质，具有竞争力。（南京科润工业介质股份有限公司聂晓霖供稿）

三、标准内容（JB/T 9209—2008）

化学热处理渗剂　技术条件

1　范围

本标准规定了化学热处理渗剂的技术要求、试验方法和安全要求等。

本标准适用于碳素钢、合金钢、铸铁及其他金属材料与粉末冶金制品进行化学热处理时采用的渗剂。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 210.1—2004　工业碳酸钠及其试验方法　第1部分：工业碳酸钠（BS 3674：1981，MOD）

GB 253　煤油（GB 253—1989，neq ASTM D3699：1983）

GB/T 470　锌锭（GB/T 470—1997，eqv ISO 252：1981）

GB 536　液体无水氨（GB 536—1988，neq ГОСТ 6221：1982）

GB/T 537　工业十水合四硼酸二钠（GB/T 537—1997，eqv ISO 1916：1972）

GB/T 678　化学试剂　乙醇（无水乙醇）（GB/T 678—2002，ISO 6353-2：1983，NEQ ）
GB/T 683　化学试剂　甲醇（GB/T 683—2006，ISO 6353-2：1983，NEQ ）
GB/T 684　化学试剂　甲苯（GB/T 684—1999，neq ISO 6353-2：1983）
GB/T 686　化学试剂　丙酮（GB/T 686—2008，ISO 6353-2：1983，NEQ）
GB/T 690　化学试剂　苯（GB/T 690—2008，ISO 6353-3：1987，NEQ）
GB/T 1196　重熔用铝锭
GB/T 1614　工业碳酸钡（GB/T 1614—1999，neq JIS k1415：1961（1983））
GB/T 2085. 1　铝粉　第 1 部分：空气雾化铝粉
GB 2440　尿素
GB/T 2946　氯化铵
GB 3095—1996　环境空气质量标准
GB/T 3634　氢气　第 1 部分：工业氢
GB/T 3864　工业氮
GB/T 4153　混合稀土金属
GB/T 4842　氩
GB/T 6890　锌粉
GB/T 7232　金属热处理工艺术语
GB/T 8121　热处理工艺材料术语
GB 8978　污水综合排放标准
GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核(GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD)
GB/T 11354—2005　钢铁零件　渗氮层深度测定和金相组织检验
JB/T 3999　钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火
JB/T 4215　渗硼
JB/T 4218　硼砂熔盐渗金属
JB/T 9198　盐浴硫氮碳共渗
JB/T 9203　固体渗碳剂

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3. 1　活性物质　active substance

在化学热处理温度下，使渗剂产生所要求元素的活性原子的物质。

3. 2　清净剂　detergent

使金属工件表面和渗剂表面清净并活化，以促进化学热处理过程的物质。

3. 3　松装比容　unit volume

渗剂单位质量的体积称松装比容。一般用于表征渗剂的特性，以 cm^3/g 表示。

3. 4　压溃率　smash ratie

表征介质承受载荷的能力。在一定压载荷作用下，介质压碎部分质量与全部质量之比率称为压溃率，以百分数表示。

4　渗剂的分类

4. 1　根据化学热处理时其主要物理状态分为气体渗剂、液体渗剂和固体渗剂三大类，其细分类如下。

4. 1. 1　气体渗剂

a）液态有机化合物裂解气渗剂；

b）原料气渗剂。

4.1.2 液体渗剂

a）熔盐渗剂；

b）热浸剂。

4.1.3 固体渗剂

a）粉末渗剂；

b）粒状渗剂；

c）膏体渗剂。

4.2 根据渗入元素的名称分类：

渗碳剂、渗氮剂、碳氮共渗剂、氮碳共渗剂、渗硫剂、硫氮共渗剂、硫氮碳共渗剂、渗硼剂、渗铝剂、渗铬剂、渗锌剂、渗硅剂、渗钒剂、渗钦剂、铬铝共渗剂、铬铝硅共渗剂及硼氮符合渗剂等。

4.3 根据渗入元素的组元数量分类：

a）单元渗剂；

b）二元共渗剂；

c）多元共渗剂等。

5 渗剂的技术要求

5.1 化学性能

在选择和生产渗剂时，应注意如下一些要求：

a）成分稳定、活性高，有害杂质、腐蚀性物要少；

b）对空气污染小，对操作者毒害小；

c）盐浴易调整，在工件上附着时易清除；

d）有机液体裂解气体渗剂，其成分要求稳定，且容易裂解。

几种常用渗剂的化学成分见附录 A 的有关规定。

5.2 物理性能

5.2.1 气体渗剂

气体渗剂如丙烷、丁烷、液氨及氮气等，一般采用瓶装商品，瓶内气体应减压及干燥后使用。压力应恒定，气流速度应能调节，在强制循环条件下，混合炉气应无成分偏析。

5.2.2 液体渗剂

液体渗剂的熔点应较使用温度低 50～100℃，渗剂不易老化，便于捞渣，在使用温度范围内流动性好，黏度小，蒸发量少。

5.2.3 固体渗剂

固体渗剂一般要求持续性好，使用后应保持松散：对于膏体渗剂，要求涂刷方便，涂在金属件上干燥后不开裂，化学热处理后应容易清除。

5.2.3.1 粒度

应按渗剂的性能、工艺要求、工件形状和大小而定。通常固体渗剂粒度 0.5～0.6mm；粉末渗铬剂和粉末渗硼剂等粒度为 80～200 目；粒状渗铬剂和粒状渗硼剂等粒度为 16～80 目。

5.2.3.2 松装比容

应满足工艺的要求，通常粒状渗硼剂的松装比体积为 0.9～1.4cm^3/g。

5.2.3.3 压溃率

要求粒状渗剂的压溃率小，通常粒状渗铬剂的压溃率应小于 10%。

5.3　使用性能

不同渗剂使用相应的化学热处理工艺，应达到规定的渗层深度、组织、表面硬度和脆性等级等要求。

6　试验方法与验收规则

6.1　渗剂的松装比容

按 JB/T 4215 规定测量。

6.2　粒状渗剂的压溃率测定方法

称取渗剂重 $Q_1 = 30\text{g}$，放入截面为 12.5cm^2 的容器中（如图 1 所示）加载到 $P = 4900\text{N}$，停留 5s 卸载，取出渗剂，用规定 80 目筛子过筛后，再称渗剂重，以 Q_2 表示，压溃率 h 按式（1）计算：

$$h = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% \tag{1}$$

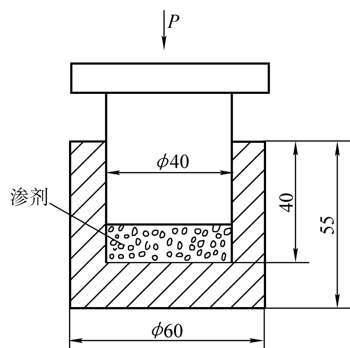


图 1　压溃试验装置

6.3　渗剂的使用效果检验

渗剂的质量评定，按正确实施工艺处理后，检查渗件表面质量、渗层深度、硬度及组织等性能指标。

6.3.1　目视检查

要求渗件表面色泽正常、均匀光洁、无裂纹、无剥落、无腐蚀斑等缺陷。

6.3.2　表面硬度

按工艺种类或渗层深度和硬度值选择合适的硬度计及试验力（或由供需双方商定）。表面硬度值及允许偏差范围应符合 JB/T 3999、JB/T 4215 及 JB/T 4218 的规定。

6.3.3　渗层深度

按一般渗层金相检验方法进行断面渗层深度测量，渗层深度应达到工艺规定。

6.3.4　硬化层深度

按 GB/T 9450 规定测量。

6.3.5　金相组织

根据零件要求达到各自的正常组织。

6.3.6　疏松层

化合物层中的疏松层按 GB/T 11354—2005 规定测量，一般工件 1~3 级合格，精密工件 1~2 级合格。

6.3.7　渗层脆性

按 GB/T 11354—2005 规定进行评级，一般工件 1~3 级合格，精密工件 1~2 级合格。

7　安全要求

7.1　在通常的条件下，生产和使用渗剂应采取相应的保护措施，不应对人体有不良影响或造成危害。

7.2　使用气体渗剂时，加热炉中的废气必须经燃烧、吸收或中和处理，有毒气体的含量应符合 GB 3095 的规定方可排放。

7.3　易燃、易爆气瓶周围严禁烟火，并应配备足够的二氧化碳或四氯化碳灭火器材；使用易爆气体的加热设备必须有防爆装置。

7.4　熔盐等液体渗剂中严禁采用氰化物等剧毒原料，工作过程中有毒的反应产物，其废盐必须进行中和处理，清洗介质或淬火介质也需进行消毒，符合 GB 8978 标准规定后方可排放，氰化物排放

量不允许超过0.5mg/L。

7.5　生产和使用固体渗剂的操作间应设置抽风排气装置减少粉尘。在空气中的飘尘含量应符合GB 3095规定，允许碳酸盐、金属粉尘等烟雾极限浓度不大于0.5mg/m^3。

7.6　防止废盐、废渣、废油对环境污染，应按照国家卫生监督机构的有关法规对“三废”进行收集、中和或稀释等必要的处理。

8　包装、运输和贮存

8.1　渗剂产品应附有质量产品合格证，包括产品名称、生产厂名、批号、产品质量指标或标准号、检验部门和检验员章、检验日期等。

8.2　渗剂的包装应保证防潮、安全和可靠，有效期限一年。

8.3　固体渗剂的包装一般分为1kg、5kg、10kg、25kg、50kg五种；气体原料应装入检验合格的钢瓶（罐）中。

8.4　渗剂包装应有牢固的标志，内容包括生产厂名、产品名称型号、级别、净重、批号、生产及出厂日期、有效期等。

有毒渗剂应有特殊标志。

8.5　渗剂运输、贮存时，应避免雨淋、受潮，易燃品、易爆品应采取可靠的防燃、防爆措施。

附　录　A
（规范性附录）
几种常用渗剂的化学成分与特点

表A.1给出了几种常见渗剂的化学成分与特点。

表A.1　几种常见渗剂的化学成分与特点

介质名称	主要成分	标　准	特　点
丙烷 C_3H_3 丁烷 C_4H_{10}	丙烷（或丁烷）≥90%（体积） 烯烃≤5%（体积） C_5以上烃≤2%（体积） H_2S≤0.2g/m^3，无游离水分		易燃易爆物质，气态密度为空气的1.5倍，其爆炸下限较低（2%左右），在贮存、使用时，必须采取安全措施
灯用煤油1号	主要含石蜡烃、烷烃及芳香烃的混合物，芳香烃10%～20%、硫≤0.04%，无水溶性酸或碱	GB 253	馏程：10%馏出温度不高于205℃、干点不高于300℃。色度（重铬酸钾溶液）1号
1号渗碳油	含硫≤0.04%，芳香烃≤7%，少量阻聚剂		馏程干点不高于255℃，渗碳速度比煤油快，生成的炭黑较少
苯 C_6H_6	纯度≥90%，水分≤0.05%，硫化物≤0.03%	GB/T 690	无色透明，有毒液体，不溶于水、能与无水乙醇或乙醚互溶。不易形成炭黑。易燃
甲苯 $C_6H_5CH_3$	纯度≥98.5%，水分≤0.03%，硫化物≤0.001%	GB/T 684	
甲醇 CH_3OH	纯度≥99.5%，水<0.3%	GB/T 683	是弱的渗碳气氛，常用作稀释气体
乙醇 C_2H_5OH	纯度≥90%，水<0.5%	GB/T 678	无色透明易挥发液体

（续）

介质名称	主要成分	标　　准	特　　点
异丙醇 $(CH_3)_2CHOH$	纯度≥98.5%，水<0.3%		这类有机滴注剂分子结构简单，高温下易裂解，形成炭黑少，与一定比例的甲醇同时滴入能实行可控渗碳
丙酮 CH_3COCH_3	纯度>99%，水<0.5%	GB/T 686	
醋酸乙酯 $CH_3COOC_2H_5$	纯度≥99%，水≤0.4%		
氨气 NH_3	纯度≥95%，水和油杂质≤5%，干燥后水<1%	GB 536	无色气体，有强烈的刺激气味，对人眼和呼吸器官有伤害作用
氮气 N_2	纯度≥99.5%，O_2≤0.5%，游离水每瓶内≤100mL（Ⅱ类一级）	GB/T 3864	无色、无味、无嗅、无毒的惰性气体
氩气 Ar	纯度≥99.99%，$O_2 \leq 20\times10^{-6}$　$H_2O \leq 20\times10^{-6}$	GB/T 4842	
氢气 H_2	纯度≥99.7%，O_2≤0.2%（Ⅰ类）	GB/T 3634	易燃、易爆
甲酰胺 $HCONH_2$	纯度≥99%		在热分解时，产生极毒的氢氰酸（在空气中含量不允许≥0.3mg/m^3）
三乙醇胺 $(C_2H_4OH)_3N$	含胺量99%～110%，三乙醇胺含量≥75%		在热分解时，产生极毒的氢氰酸（在空气中含量不允许≥0.3mg/m^3）
尿素 $(NH_2)_2CO$	工业用含氮≥46%，水≤0.5%	GB 2440	
碳酸钠 Na_2CO_3	纯度≥98.5%，氯化物≤1.0%，水不溶杂质≤0.5%	GB 210.1—2004（二级）	
碳酸钡 $BaCO_3$	工业纯	GB/T 1614	
硼砂 $Na_2B_4O_710H_2O$	纯度≥94%，脱水后纯度≥97%	GB/T 537	
氯化铵 NH_4Cl	纯度≥99.3%，硫酸盐（SO_4）0.02%，水不溶物<0.02%	GB/T 2946	
铬粉	纯度≥95%，C<0.1%		
二氧化二铬	纯度≥95%		
五氧化二钒	纯度≥75%（工业品）		
钛粉	纯度≥98%		
钛合金粉	含Ti≥50%（工业品）		
锌粉	含Zn≥98%	GB/T 6890	

（续）

介质名称	主要成分	标　　准	特　　点
混合稀土金属	总稀土金属含量≥98%、铈含量≥45%	GB/T 4153	
氧化钛	纯度≥95%		
铝锭	纯度≥99.5%，Fe+Si≤0.45%	GB/T 1196	
锌锭	纯度≥99.5%，杂质<0.5%	GB/T 470	
铝粉	纯度≥98.5%，Fe≤0.18%，Si≤0.12%	GB/T 2085.1	
盐浴硫氮碳共渗剂	J-1 基盐　CHO^-≥40% CN^-<0.3%，$S2^-$<10×10^{-6}，Z^{-1}再生盐含大量N、C的多种有机物	JB/T 9198	
硼砂熔盐渗铬剂	铬含量≥5%，三氧化二铬≤1%，加还原剂（铝等）调整活性	JB/T 4218	
硼砂熔盐渗钒剂	钒含量≥5%，五氧化二钒<1%，加还原剂调整活性		
固体渗碳剂	木炭（桦木、柞木，含硫量≤0.04%），$BaCO_3$5%～15%，$CaCO_3$≤2%，加适量粘结剂均匀混合	JB/T 9203	
固体渗硼剂	硼铁（含B>20%，Si≤0.05%）或碳化硼（含量>90%）50%～58%，三氧化二铝等40%左右，氟硼酸钾或氯化铵2%～5%等	JB/T 4215	

第三节　固体渗碳剂

一、概论

在单件、小批量生产和某些特定条件下，固体渗碳仍不失为一种可取的工艺方法。目前我国的固体渗碳剂用量仍很大，因此，为控制与稳定固体渗碳剂的品质，以保证渗碳件的质量，制定《固体渗碳剂》标准是非常必要的。

本标准是在广泛调研的基础上，主要参考了ГОСТ 2407—1983《固体渗碳剂》的内容和规定，以及先后三次进行催渗剂（$BaCO_3$）含量对渗碳效果影响的验证试验工作的基础上制定和修订的。

二、标准应用说明

1. 固体渗碳剂的要求

为了使固体渗碳能够顺利进行，提高机械零件的渗碳质量，降低工艺材料的消耗，固体渗碳剂应具备以下性能：

（1）活性强——在渗碳温度下能连续析出足够活性的碳原子［C］。

（2）强度高——渗碳使用中颗粒不易破碎。

（3）体积收缩小——保持原有体积的能力，并不易烧结成块。

（4）导热性好——使炉温较快地传导到渗碳工件上。

（5）密度小——便于搬运和操作，减少工件受压畸变、减少设备负载。

（6）灰分及有害杂质低——提高渗碳质量，防止渗碳工件表面受腐蚀。

（7）使用寿命长——能反复多次使用，并能保持较好的活性。

（8）材料来源充足——能保证及时供应。

（9）经济性好——成本低廉，降低费用。

2. 固体渗碳剂的组成

用于低碳钢和低碳合金结构钢制造机械零件的渗碳，所用的固体渗碳剂由供碳剂、催渗剂、填充剂和粘结剂均匀混合而成。

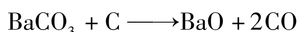
（1）供碳剂。供碳剂在渗碳温度下，应能持续不断地提供足够数量的活性碳原子，有害杂质要少，材料来源充足，成本低廉。众所周知，木炭的来源广泛，成本低廉，活性适中，质地较为纯净，因此，本标准规定选用质地坚硬、纯净的木炭作为渗碳剂中的供碳剂是比较合理的。

焦炭、骨炭等其他固态炭在工厂生产中也有应用。骨炭的活性虽然很强，然而成本较高，货源紧张、供货困难，批量生产不易采用。焦炭虽然强度高，但活性较差，渗碳后渗碳层表面 w（C）仅达到0.7%（根据上海油泵厂试验结果），因而本标准不推荐焦炭作为供碳剂。如果渗碳件很大、很重，渗碳时为了提高渗碳层的均匀性，并减少畸变，在渗碳剂中可混合一定比例的焦炭颗粒。混合的比例由渗碳剂生产企业和使用单位协商确定。

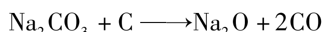
为了使供碳剂在渗碳过程中具有较高的强度，不易压碎而成粉状，木炭应加工成不同的粒状和小块状，而不能加工成薄片状。本标准规定按木炭颗粒直径的大小分为5组，催渗剂按 $BaCO_3$ 的含量多少分为3类，这样渗碳剂生产企业可加工配制出15种不同规格的渗碳剂。用户也可以根据渗碳工件的几何形状和尺寸、技术要求，选择活性适中、粒度合适的渗碳剂。

一般来说，木炭颗粒粗，强度高及导热较快，但活性较低；木炭颗粒细小，灰分较高，强度较低，导热较慢，但是活性较好。

（2）催渗剂。固体渗碳剂中的催渗剂有提高供碳剂析出活性碳原子的能力，增加渗碳箱内 CO 和 CO_2 的分压，强化渗碳过程，加快渗碳速度的作用。碱金属及碱土金属的碳酸盐是目前国内外应用最广泛的催渗剂。在渗碳过程中，它们将发生下列化学反应：



$$BaCO_3 + C \longrightarrow BaO + 2CO$$



$$Na_2CO_3 + C \longrightarrow Na_2O + 2CO$$

这样，不仅使渗碳箱内的 CO 分压提高，而且使其数量增多，则析出活性碳原子［C］的数量也随之增加，渗碳速度亦随之加快，整个渗碳过程得到强化。

1）催渗剂种类的选择。在渗碳过程中，一般要求催渗剂碳酸盐要缓慢地分解，而且在渗碳后的冷却过程中，催渗剂的金属氧化物又能与渗碳箱内的 CO_2 发生化学反应，使之还原再生。这样，可减少催渗剂在渗碳过程中的损耗。

试验资料证明，$BaCO_3$ 和 Na_2CO_3 在渗碳温度下不仅能缓慢地分解，而且在渗碳后的冷却过程中又能还原再生。但应指出 $BaCO_3$ 再生较为完全，而 Na_2CO_3 的再生效果较差，损耗较多。因此，本标准规定了选用 $BaCO_3$ 作为催渗剂。

$CaCO_3$ 在渗碳温度下分解极快，因而几乎没有什么催渗作用。近年来，有的研究资料推荐用醋酸钠作催渗剂。醋酸钠在渗碳温度下不仅能析出 CO，而且还能析出渗碳能力很强的 CH_4，因此，它具有强烈的催渗作用。然而醋酸钠在渗碳后的冷却过程中却不能还原再生，故催渗剂损耗大、成本高，批量生产时，不宜采用。

2）催渗剂含量的确定。20 世纪 60 年代，许多研究资料认为，固体渗碳剂中催渗剂碳酸盐的质

量分数高达40%。根据制标调研情况表明，国内许多渗碳剂生产企业的技术条件中，规定碳酸盐质量分数为5%～15%或5%～20%。近期许多专业书刊和技术资料认为齿轮渗碳后，渗碳层表面的 w（C）应控制在0.70%～1.05%范围内为好。大家知道，固体渗碳剂的活性不仅与渗碳温度有关，而且在渗碳剂中的碳酸盐含量有关。

为了确定固体渗碳剂中碳酸盐含量究竟在多大范围内比较合理，我们进行了碳酸钡含量对渗碳效果影响的验证试验。验证试验的简况是：渗碳剂木炭的粒度为0.5～1.5mm，分别配制成 $BaCO_3$ 的质量分数为5%、10%、15%、20%、30%和不添加 $BaCO_3$ 六种成分的渗碳剂。一种成分的渗碳剂装在一个渗碳罐内，每罐内装入两根 ϕ30mm×150mm 的20钢剥层分析试样。六个渗碳罐（即六种成分的渗碳剂）同装入一个炉内，在同一温度下进行渗碳，缓冷后按有关规定进行剥层定碳分析，其结果见图7.3-1。

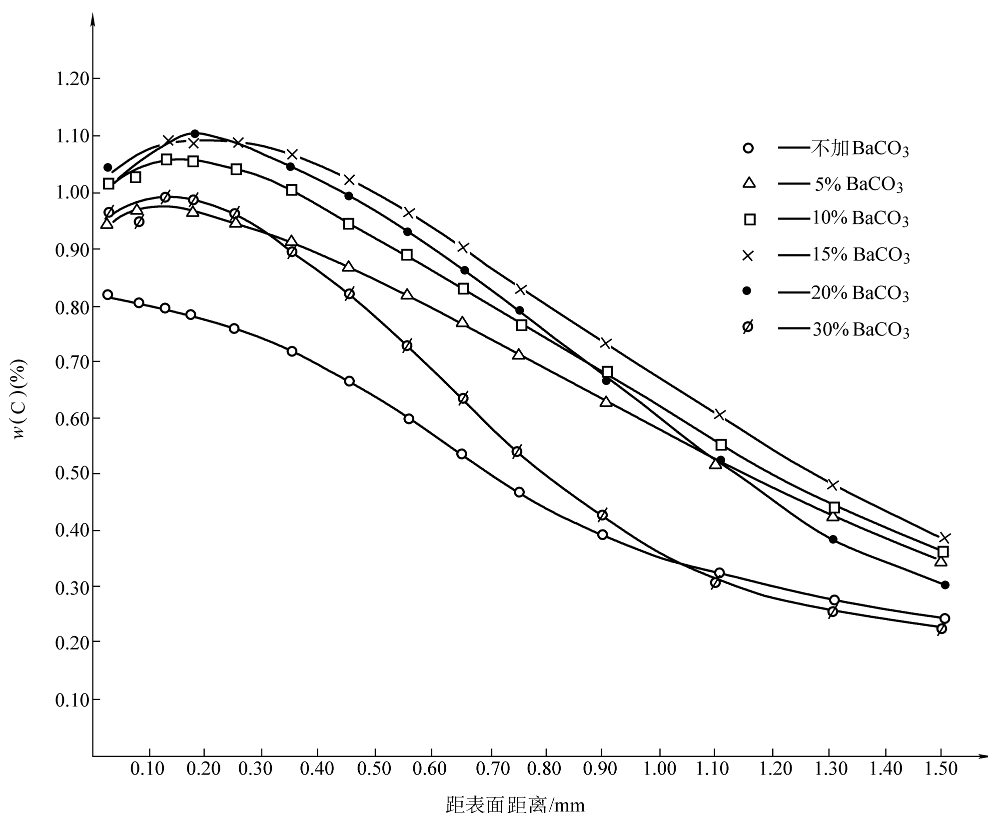


图7.3-1　剥层定碳曲线

从图7.3-1中可以看出：固体渗碳剂中 $BaCO_3$ 含量的高低对渗碳过程中的催渗作用相当明显。渗碳剂的活性在 $BaCO_3$ 的质量分数为15%以下时，随其含量的增加而提高；当其质量分数大于20%时，渗碳剂的活性已明显降低。在纯木炭中渗碳，试样表层碳含量仅达到共析成分（w（C）为0.8%），且共析区的深度也较浅，因而采用纯木炭进行固体渗碳，显然对渗碳件的力学性能是不利的。一般情况下，生产中不宜采用。

为了保证和提高渗碳工件的渗碳质量，根据验证试验结果，参考国外同类先进标准规定，并结合国内加工配制的使用情况，本标准规定催渗剂 $BaCO_3$ 的质量分数为5%～15%。为了便于生产管

理和使用，将 $BaCO_3$ 的质量分数分为（5 ±2）%、（10^{+2}_{-3}）%、（15^{+2}_{-3}）% 三组。用户可根据渗碳工件的结构、材料及技术要求，选择活性适中的渗碳剂。

（3）填充剂。渗碳剂中填充剂的作用，是防止渗碳工件在长时间较高温度下的渗碳过程中，使渗碳剂烧结成块。通常以少量的 $CaCO_3$ 或焦炭小颗粒作为填充剂。本标准规定 $CaCO_3$ 的质量分数不大于 2%，如果用户认为没有必要，双方协商后可以另行规定。

（4）粘结剂。为了使催渗剂碳酸盐与木炭颗粒较为牢固地粘结起来，混合均匀，减少筛漏损失，本标准选用糖浆或其他有黏性的碳氢有机溶剂为粘结剂（淀粉、薯粉、糊精或重油）。由于目前对此没有合适的检验方法，所以本标准对其含量未做规定。渗碳剂生产企业加工配制时，可根据情况适量添加。

（5）有害杂质的含量。固体渗碳剂中的水分、硫、二氧化硅等杂质含量的多少，对渗碳工件的渗层深度、金相组织、表面质量均有明显地影响。

1）水分含量。固体渗碳剂中若水分含量过多，不仅会使渗碳剂在存放或运输过程中结块变质，而且易使渗碳工件在渗层的晶界上形成黑色网状组织（即内氧化）。并且，在渗碳加热过程中，大量的水分蒸发，使密闭的渗碳箱内压力升得过高而发生爆箱，不仅影响工件的渗碳质量，而且极不安全。因此，本标准规定渗碳剂中的水分含量不大于 4%（质量分数）。

2）硫含量。硫在渗碳剂中是有害的，若含量过高，工件渗碳后在其表面局部区域会产生严重腐蚀。如湖南衡阳汽车配件厂于 1983 年，使用江西某厂供应的渗碳剂进行固体渗碳时，因硫含量过高使工件渗碳表面产生严重腐蚀，经济损失达 3 万 ~4 万元。因而本标准规定固体渗碳剂中硫的质量分数不大于 0.04%。

3）二氧化硅含量。渗碳剂中若二氧化硅含量过多，在工件的渗碳过程中，会与催渗剂中的碳酸盐发生化学反应，生成玻璃瘤状的硅酸盐，附着在渗碳工件的表面上。这将减弱或阻止这些局部区域渗碳过程的正常进行。不仅使工件的渗层分布、渗层深度、渗层表面碳含量等差别增大，而且会导致渗碳工件在淬火后，其显微组织、硬度分布和应力分布都不均匀，导致工件的热处理畸变增大、力学性能降低。因此，本标准规定渗碳剂中的二氧化硅的质量分数不大于 0.2%。

3. 配制方法

为了使渗碳剂中的催渗剂与不同粒度的木炭颗粒能均匀地混合，防止工件渗碳时，发生渗层组织不均匀和表面产生软点，本标准推荐采用湿法混合。也允许采用干法混合，但是 $BaCO_3$ 不应结块或结合成直径大于 0.5mm 的颗粒。

4. 安全技术要求

加工配制和使用固体渗碳剂的操作间，产生的木炭尘埃容易引起火灾，并在空气中具有较低的易燃浓度极限（$<10mg/m^3$）。为了保障操作人员的身体健康，防止火灾发生，本标准规定操作间空气中 $BaCO_3$ 烟雾浓度极限应小于 $0.5mg/m^3$，木炭尘埃应小于 $10mg/m^3$。加工配制使用渗剂的操作间应设抽风洗尘装置。

5. 与国内外标准的比较

本标准中的技术条件与国内外同类标准的对比情况见表 7.2-1。从表 7.2-1 中可以看出：

（1）本标准中杂质项目的含量均少于国内渗碳剂生产企业的技术要求，而与国外先进国家同类标准的技术要求基本相同。

（2）本标准将固体渗碳剂中的木炭按粒度、碳酸钡按其含量多少进行分类，这不仅便于渗碳剂生产企业进行加工制造，也便于使用单位根据产品结构和技术条件，选择粒度合适、活性适中的渗碳剂。（洛阳第一拖拉机厂王达生供稿）

表 7.2-1 本标准中的技术条件与国内外同类标准的对比情况

序号	比较项目	JB/T 9203—2008	ГОСТ 2407—1983	湖南浏阳市三口化工厂	四川省綦江汽车配件厂	山东省安丘热处理材料厂	辽宁省桓仁县新华机械化工厂
1	木炭	按粒度大小分5组 1组0.5~1.5mm 2组>1.5~3.0mm 3组>3.0~6.0mm 4组>6.0~9.0mm 5组>9.0~12.0mm 每组规定粒度含量应不小于92%，大于规定粒度含量应不大于2%	粒度未做明确规定仅对残渣质量做了规定。要求残渣的质量分数在100号筛网上不少于92%，在35号筛网上不大于6%，在底部不大于2%	按粒度大小分为4组 1组1~3mm 2组3~5mm 3组5~8mm 4组8~10mm	按粒度大小分为三组 1组<3.0mm 2组3~8mm 3组>10mm	按粒度分为4组 1组1~3.0mm 2组4.0~6.0mm 3组6.0~8.0mm 4组9.0~12.0mm	木炭粒度为3.5~10mm，其中粒度大于上限，小于下限的都不超过10%
2	$BaCO_3$（催渗剂）	按其含量分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类 Ⅰ类:3%~7% Ⅱ类:>7%~12% Ⅲ类:>12%~17%	仅规定$BaCO_3$含量为20%±2%	Na_2CO_3、$BaCO_3$、$CaCO_3$ 12%	未按含量分组，$BaCO_3$含量为10%	未按含量分组$BaCO_3$含量在5%~10%范围内	按其含量分为8组 1组1%~3% 5组10%~13% 2组3%~5% 6组13%~17% 3组5%~7% 7组17%~20% 4组7%~10% 8组20%~25%
3	$CaCO_3$	≤2%	不大于2%				≤5%
4	含水量	≤4%	不大于4%		<5%	≤5%	≤5%
5	含硫量	≤0.04%	不大于0.04%	<0.04%	<0.06%	≤0.05%	普通类≤0.10% 精制类≤0.06%
6	挥发物含量	≤8.0%	不大于8.0%	<6.0%	<10%		<10%
7	二氧化硅含量	≤0.2%	不大于0.2%		<0.5%		

注：表中百分数均为质量分数。

三、标准内容（JB/T 9203—2008）

固体渗碳剂

1 范围

标准规定了固体渗碳剂的技术要求、分析方法、检验规则及包装、运输、贮存和标志。

本标准适用于低碳钢和低落碳合金钢零件渗碳用的固体渗碳剂。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所

有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 603　化学试剂　试验方法中所用制剂及制品的制备（GB/T 603—2002，ISO 6353-1：1982，NEQ）

GB/T 622　化学试剂　盐酸（GB/T 622—2006，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 625　化学试剂　硫酸（GB/T 625—2007，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 631　化学试剂　氨水（GB/T 631—2007，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 637　化学试剂　五合水硫代硫酸钠（硫代硫酸钠）（GB/T 637—2006，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 639　化学试剂　无水碳酸钠（GB/T 639—1986，eqv ISO 6353-2：1983）

GB/T 642　化学试剂　重铬酸钾（GB/T 642—1999，neq ISO 6353-2：1983）

GB/T 643　化学试剂　高锰酸钾（GB/T 643—2008，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 652　化学试剂　氯化钡（GB/T 652—2003，ISO 6353-2：1983，NEQ ）

GB/T 670　化学试剂　硝酸银（GB/T 670—2007，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 1272　化学试剂　碘化钾（GB/T 1272—2007，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 1397　化学试剂　碳酸钾（GB/T 1397—1995，eqv ISO 6353-3：1987）

YB/T 1428　炭素材料内在水分的测定

HG/T 2759　化学试剂　可溶性淀粉

HG/T 3453　化学试剂　草酸铵

3　技术要求

3.1　固体渗碳剂是由木炭（或其他供渗剂）、碳酸钡（或其他催渗剂）、碳酸钙（填充剂）和适量粘结剂混合而成，碳酸钡应均匀地覆盖在木炭颗粒的表面。

3.2　固体渗碳剂中碳酸钡含量及类别应符合表1的规定。

表1　固体渗碳剂中碳酸钡含量

碳酸钡含量类别	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
碳酸钡含量（%）	3~7	>7~12	>12~17

3.3　固体渗碳剂颗粒尺寸及组别应符合表2规定。

表2　固体渗碳剂颗粒尺寸　（单位：mm）

粒度组别	1	2	3	4	5
颗粒尺寸	0.5~1.5	≥1.5~3.0	≥3.0~6.0	≥6.0~9.0	≥9.0~12.0

注：特殊情况根据供需双方协议，其粒度可不在表中范围内。

3.4　固体渗碳剂中规定粒度含量应不小于92%，大于规定粒度含量应不大于2%。

3.5　固体渗碳剂中碳酸钙含量应不大于2%，根据供需双方协议也可取消。

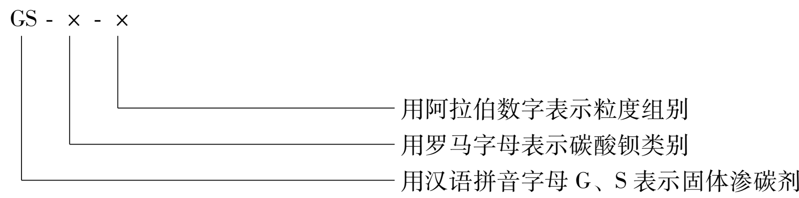
3.6　固体渗碳剂中杂质含量应符合表3的规定。

表3　固体渗碳剂中杂质含量

序　号	杂质种类	含量（%）	序　号	杂质种类	含量（%）
1	水分	≤4	3	二氧化硅	≤0.2
2	硫	≤0.04	4	挥发物	≤8

注：所列含量应以无水渗碳剂换算。

3.7　采用GS-×-×作为产品标记：



示例：固体渗碳剂含碳酸钡大于12%～17%，粒度尺寸大于1.5～3mm的标记为：

GS-Ⅲ-2

3.8　生产和使用固体渗碳剂的操作间，木炭尘埃含量应小于10mg/m^3，碳酸钡烟雾浓度应小于0.5mg/m^3。

4　分析方法

4.1　碳酸钡含量的测定应符合附录A的规定。

4.2　碳酸钙含量的测定应符合附录B的规定。

4.3　水分含量的测定应符合YB/T 1428的规定。

4.4　硫含量的测定应符合附录C的规定。

4.5　二氧化硅含量的测定应符合附录D的规定。

4.6　挥发物含量的测定应符合附录E的规定。

4.7　粒度组成的测定应符合附录F的规定。

5　检验规则

5.1　取样时分别在袋（桶）中心线上、中、下位置取样，总量应不小于2kg。

5.2　抽样数量：每批抽样10%，但不得少于三个包装单位。

5.3　抽验不合格时，应加倍复检，仍有不合格样品时，可认定该批产品不合格。

6　包装、运输、贮存和标志

6.1　渗碳剂必须以袋（桶）包装，并应有防潮措施，每袋（桶）渗碳剂重量不大于20kg。

6.2　运输过程中应保证渗碳剂不受潮、不损伤。

6.3　渗碳剂应存放在通风干燥的库房内。

6.4　渗碳剂包装袋（桶）表面应注明产品名称、注册商标、规格、重量、生产单位、出厂日期和防潮符号，包装内应有产品合格证。

附　录　A

（规范性附录）

碳酸钡含量测定方法

A.1　仪器

仪器为一般实验室仪器。

A.2　试剂

a）盐酸（GB/T 622），分析纯，1∶1稀释；

b）氨水（GB/T 631），分析纯；

c）1%酚酞指示液，按GB/T 603规定配制；

d）重铬酸钾（GB/T 642），分析纯，0.1mol/L；溶液；

e）硫代硫酸钠（GB/T 637），分析纯，0.1mol/L；溶液；

f）可溶性淀粉（HB/T 2759），分析纯，0.5%溶液；

g）碘化钾（GB/T 1272），分析纯。

A.3　分析步骤

取已研成粉末的渗碳剂约2.5g，称量误差不大于0.0005g，放入容积250mL的锥形烧瓶中，加入50mL（50±5）℃的水和50mL盐酸，用表玻璃盖上烧瓶，加热煮沸30~40min直到停止排出二氧化碳为止。然后把烧瓶中所含物用滤纸过滤，滤纸上的残余物用水冲洗3~4次，每次用水量为15~20mL，把滤液和冲洗的水搜集到250mL量瓶中，加水使溶液的表面达到标记处并仔细混合。

用吸管把100mL的滤液移入250mL的锥形烧瓶中央加入还原酚酞的情况下，用氨水中和，直到呈弱的玫瑰红色为止。再用滴定管加入40mL重铬酸钾溶液，并加热煮沸5~10min。

使烧瓶中的所含物冷却并过滤到250mL量瓶中，把滤纸冲洗2~3次，每次用水量15~20mL，加水使溶液表面增到标记处并仔细地混合。该溶液必须保存起来以确定碳酸钡的含量。

取100mL的溶液，用吸移管移入容积为1000mL的锥形烧瓶中，加入50mL盐酸和1.5g碘化钾，用塞子把烧瓶盖紧，把烧瓶中的所含物进行混合并停留5~10min，然后加水使烧瓶中溶液的体积增加到400~500mL，并在加入淀粉溶液的情况下用硫代硫酸钠溶液进行滴定，直到蓝色溶液转变为淡绿色为止。

A.4　计算结果

碳酸钡的百分数含量（X_1）按式（A.1）计算：

$$X_1=\frac{(40-2.5V)\times 0.006579\times 2.5\times 100\times 100}{m(100-X)} \tag{A.1}$$

式中　40——重铬酸钾溶液体积（g）；

2.5——核算工作溶液稀释的换算系数；

V——滴定剩余的重铬酸钾所消耗的硫代硫酸钠溶液体积（mL）；

0.006579——相当于1mL重铬酸钾溶液的碳酸钡质量（g）；

m——称出渗碳剂的质量（g）；

X——渗碳剂中的含水量（%）。

取两次平行测定结果的算数平均值为分析的结果，两次平行测定结果之间的偏差不得大于5%。

附　录　B
（规范性附录）
碳酸钙含量的测定

B.1　仪器和试剂

B.1.1　仪器为一般实验仪器。

B.1.2　试剂：

a）草酸铵（HG/T 3453），分析纯，饱和溶液；

b）硝酸银（GB/T 670），分析纯，0.1mol/L；溶液；

c）硫酸（GB/T 625），分析纯，25%溶液；

d）高锰酸钾（GB/T 643），分析纯，0.1mol/L；溶液。

B.2　分析步骤

取100mL按附录A中A.3配制好的溶液，用吸移管移入容积为250mL的烧杯中，加热至沸腾，

加入 10 ~ 20mL 的加热到沸点的草酸铵溶液，并放置 2 ~ 3h。

把析出的残余物过滤，并用（50 ± 5）℃的水冲洗 3 ~ 4 次，每次水量为 15 ~ 20mL，直到在冲洗的水中得到氧离子的阴性反应为止（硝酸银溶液试验）。

把滤纸上的残余物进行稀释。稀释的方法是用加热到（50 ± 5）℃的硫酸溶液洗涤三次，每次冲洗量为 10 ~ 15mL，并用同样温度的蒸馏水洗涤 3 ~ 4 次，每次水量为 10mL。把滤液和冲洗的水收集到锥形烧瓶中。

把所得溶液加热到（70 ± 5）℃，并用高锰酸钾滴定直到出现不会消失的浅红玫瑰色为止。

B.3 计算结果

碳酸钙百分数含量（X_2）按式（B.1）计算：

$$X_2 = \frac{V \times 0.005004 \times 6.25 \times 100 \times 100}{m\ (100 - X)} \tag{B.1}$$

式中 V——滴定用高锰酸钾溶液的体积（mL）；

0.005004——相当于 1mL 高锰酸钾溶液的碳酸钙质量（g）；

6.25——把碳酸钙量换算成按 A.3 中称取的渗碳剂中碳酸钙量的换算系数；

m——第 A.3 章中测定碳酸钡含量称出渗碳剂的质量（g）；

X——渗碳剂中的含水量（%）。

取两次平行测定结果的算数平均值为分析的结果，两次平行测定结果之间的偏差不得大于 1%。

附　录　C
（规范性附录）
硫含量的测定方法

C.1 仪器和试剂

C.1.1 仪器为一般实验室仪器。

C.1.2 试剂：

a）无水碳酸钠（GB/T 639），分析纯，0.5% 水溶液；

b）高锰酸钾（GB/T 643），分析纯；

c）盐酸（GB/T 622），分析纯；

d）氯化钡（GB/T 652），分析纯，2% 水溶液。

C.2 分析步骤

取 10g 碳酸钠和 10g 高锰酸钾（称量误差不大于 0.02g）放在钵体中研细、拌匀，加进约 1g 研成细末的渗碳剂（称量误差不大于 0.0005g）。

把混合物放入坩埚，放入（有坩埚架）马弗炉中在（600 ± 10）℃下烧结成块；

从马弗炉中取出坩埚，置于空气中冷却 5 ~ 10min。用（50 ± 5）℃的水冲洗坩埚中的烧结物质，共洗两次，按 15 ~ 20mL 的批量分批在纸质过滤器上过滤，再用碳酸钠溶液分批洗涤两次，每批 20mL，把滤液和冲洗用水收集到容积为 250mL 的杯中，再用盐酸酸化到加甲基橙溶液时呈酸性反应；加热至沸腾，添加 50mL 加热至沸腾的氯化钡溶液，放置 8 ~ 10h。

析出的沉渣用无灰过滤器过滤，用水分批洗涤 3 ~ 4 次，每批 15 ~ 20mL，放入烘干柜内，在 105 ~ 110℃下进行烘干，然后把带沉渣的过滤器置于预先修整到固定质量的坩埚内，再在马弗炉内（600 ± 10）℃下锻烧到固定质量。

同时，在相同条件下，以同等数量的试剂进行空白试验。

C.3　计算结果

硫含量（X_3）用百分数表示，按式（C.1）计算：

$$X_3 = \frac{(m_1 - m_2) \times 0.1373 \times 100 \times 100}{m(100 - X)} \qquad (C.1)$$

式中　m_1——准确称出的渗碳剂质量（g）；

m_2——基本试验中经过锻烧的残渣质量（g）；

0.1373——碳酸钡重量换算成硫的质量的换算系数；

m——空白试验中经锻烧的残渣质量（g）；

X——渗碳剂中的水质量份额（%）。

取两次平行测定结果的算数平均值为分析的结果，两次平行测定结果之间的偏差不得大于0.01%。

附　录　D

（规范性附录）

二氧化硅含量的测定方法

D.1　仪器和试剂

D.1.1　仪器为一般实验室仪器。

D.1.2　试剂：

a）盐酸（GB/T 622），分析纯，1∶1 稀释；

b）碳酸钠（GB/T 639），分析纯；

c）硝酸银（GB/T 670），分析纯，0.1mol/L；溶液；

d）碳酸钾（GB/T 1379），分析纯。

D.2　分析步骤

把约2g渗碳剂研成粉末（称量误差不大于0.02g），放入杯中小心地注入10mL稀盐酸和50mL水。用表玻璃把杯子盖起来，加热30～40min（至CO_2停止释出为止）。

把不溶解的残渣滤出，分批用（50±5）℃的水洗涤四次，每批10～15mL，然后连同过滤器一起放入陶瓷坩埚，在烘干柜中105～110℃下进行烘干，再放入马弗炉中在（600±10）℃下锻烧20～30min。

把锻烧的残渣转入白金坩埚中，加入碳酸钠和碳酸钾等量混合物1g（称量误差不大于0.02g），在马弗炉中在（600±10）℃下锻烧。

把坩埚连同烧结物一起置于空气中冷却5～10min，再把烧结物溶于2～3mL的（50±5）℃的水中，加上三滴浓盐酸。把溶液转注入蒸发皿，2～3滴稀盐酸，在水槽上蒸发重复进行2～3次，每次加3～5mL稀盐酸。

用4～5滴稀盐酸浸湿皿中之物，经过30min将其溶于（50±5）℃的水中，再进行过滤。用70～80℃的水分批冲洗过滤器上的残渣，每批10～15mL，直至冲洗水的氯离子对硝酸银溶液呈阴性反应，把过滤纸和残渣置于坩埚中，在烘干柜中105～110℃下进行烘干，然后在马弗炉中锻烧至稳定重量。陶瓷坩埚在使用前和时都要过秤（称量误差不大于0.0005g）。

D.3　计算结果

二氧化硅含量（X_4）用百分数表示，按式（D.1）计算：

$$X_4 = \frac{m_1 \times 100 \times 100}{m(100 - X)} \qquad (D.1)$$

式中 m_1——锻烧后的残渣质量（g）；

m——称出渗碳剂的质量（g）；

X——渗碳剂中水含量（%）。

取两次平行测定结果的算数平均值为分析的结果，两次平行测定结果之间的偏差不得大于0.05%。

附 录 E

（规范性附录）

挥发物含量的测定

E.1 仪器

仪器为一般实验室仪器。

E.2 分析步骤

取1g左右渗碳剂研成粉末，称量误差不大于0.0005g，放入坩埚，加盖盖紧，坩埚事先锻烧至稳定质量。

把坩埚放在支架上，使坩埚的底部距马弗炉底板之间的距离为10～20mm。把坩埚放在马弗炉内时，温度下降，经3min温度回升到500～550℃。若3min内温度达不到时，要重新进行。7min后，把坩埚从炉内取出，先在空气中冷却5min，然后放入干燥器中，并过秤。

E.3 结果计算

挥发物百分含量（X_5）按式（E.1）计算：

$$X_5 = \frac{(m - m_1) \times 100}{m} - X \quad (E.1)$$

式中 m——准确称出渗碳剂的质量（g）；

m_1——锻烧后的残渣质量（g）；

X——渗碳剂中水含量（%）。

取两次平行测定结果的算数平均值为分析的结果，两次平行测定结果之间的偏差不得大于0.6%。

附 录 F

（规范性附录）

粒度组成的测定

F.1 仪器

测定某一规定粒度级别时，应具备孔径和本档上、下限粒度直径相同的筛网。

F.2 测定步骤

取1000g左右的渗碳剂（称量误差不大于0.02g），放在粗孔径的筛网上，并使用权粗、细筛网上下叠放，以100次/min的颠簸速率用手筛簸2min。

筛后称粗、细筛网上的渗碳剂质量。

F.3 结果计算

规定粒度的百分含量（X_6）按式（F.1）计算：

$$X_6 = \frac{m_1 \times 100}{m} \quad (F.1)$$

式中 m——准确称出渗碳剂的质量（g）；

m_1——细筛网上渗碳剂质量（g）。

大于规定粒度的百分含量（X_7）按式（F.2）计算：

$$X_7 = \frac{m_2 \times 100}{m} \qquad (F.2)$$

式中　m——准确称出渗碳剂的质量（g）；

m_2——粗筛网上渗碳剂质量（g）。

小于规定粒度的百分含量（X_8）按式（F.3）计算：

$$X_8 = 100 - X_6 - X_7 \qquad (F.3)$$

取两次平行测定结果的算数平均值为分析的结果，两次平行测定结果之间的偏差不得大于0.5%。

第四节　防渗涂料技术条件

一、概论

防渗涂料作为热处理工艺材料的一大类，在节材降耗、简化工艺、降低生产成本、保护环境等方面已显示出显著的经济效益。近年来越来越多地被应用于汽车及摩托车、工程机械、石油机械、机床、飞机及船舶制造等加工制造领域。

本标准于1989年2月首次发布，于1999年和2008年两次修订。本标准为防渗涂料提供了合理的技术条件和可靠的质量标准，也为生产厂家与用户建立了明确的和统一的生产验收依据。

二、标准应用说明

1. 适用范围、术语和分类

（1）本标准适用于暂时性的防渗保护涂料。对于长期防渗保护涂料，如电热元件防渗涂料、耐火衬砖防渗涂料、防老化涂料、在熔盐中起防渗作用的涂料等则不适用。

（2）围绕“防渗”这个中心，定义了3个术语。

（3）为了便于归纳和统一，首先规定了防渗涂料的分类。为了能使用户方便地了解涂料的各项性能，也规定了涂料的分类标记。

2. 关于技术要求的几点说明

（1）一般要求。由于一些热处理涂料生产企业对产品质量不重视，所生产的涂料，有的不防渗，有的清洗困难，造成了浪费。以防渗碳涂料为例，生产防渗碳涂料的企业有几十家，1987年在防渗碳涂料的考核中，很多企业生产的涂料不合格。通过大量的试验验证，确定一些有关涂料本身性能的基本要求，如涂料的泥浆性能、涂刷性、流平性、干燥性、贮存性等。对于产品的颜色和密度，由于各种涂料都有差别，所以本标准中不规定这两方面的技术要求。

列入标准要求中的各种涂料一般性能的依据，主要是这些性能的实用性，而在涂料使用中涉及的有关性能指标要求，主要是考虑在应用时能方便地使用，能保证形成一个不腐蚀工件基体并具有一定强度的完整涂层。

（2）防渗要求。“防渗”是热处理防渗涂料的主要性能要求，由于介质渗入金属表面将形成具有一定深度和一定浓度的渗层。因此，对热处理涂料的防渗性能也是依据经涂料保护后工件表面渗层的深度和介质浓度来评价。标准中相应地列出了阻硬率的概念，以便尽可能完整地评定涂料的防渗能力。

涂料的阻硬率是保护前后介质渗入工件表面的硬度变化。这里的硬度实际上反映了介质在表面的浓度情况。其计算式见标准的公式（1）。

根据几个生产企业对防渗碳、渗氮和渗硼涂料防渗效果的反映，如果漏渗，工件防渗表面硬度就提高很多。又根据我们现在研制的防渗硼、防渗铬，防渗铝涂料来看，如果涂料的防渗能力不好，有稍微地渗入，其硬度就提高很多（见表 7.4-1，表 7.4-2）。验证时证明，阻硬率对渗碳、碳氮共渗较适合，而用于渗硼、渗铬、渗铝、渗氮等则有问题，因此本标准采用了允许的最高硬度值 H_{max}。

表 7.4-1　防渗碳涂料的防渗效果

名称	材料	防护状态	渗碳层深度/mm	周边增碳情况	淬火后硬度　HRC		备　注
					心部	涂层处	
D300 型从动齿轮	20CrMnTi	涂料	1.45~1.75		30	32	涂料合格
3500 型传动齿轮			1.8~2.2				
3500 型主动齿轮			2.1~2.7				
ϕ20mm×40mm 试棒	20 钢		0.3	全周边		62	涂料不合格
ϕ20mm×40mm 试棒			0.7	局部区域		59	

表 7.4-2　防渗氮、防渗硼、防渗铬涂料的防渗效果

名称	材料	防护状态	渗层厚度/mm	防渗面漏渗厚度/mm	心部硬度 HV	防渗面硬度 HV	备　注
防渗氮	38CrMoAlA	KS-2 涂料	0.6	无	249~289	249~289	此涂料合格
			0.58~0.6		226~274	242~249	
	15Cr11MoA		0.30		227~238	227~238	
	38CrMoAlA		0.5	0.006	250~279	446	此涂料不合格
防渗硼	45 钢	涂料	0.055	无	176	210	此涂料合格
			0.075		157	196	
			0.065	0.008	179	682	此涂料不合格
防渗铬			0.045	无	178	210	此涂料合格
			0.028		170	198	
			0.046	0.004	167	460	此涂料不合格

在 1987 年的防渗碳涂料考核中，防渗碳试样用 20 钢，尺寸为 ϕ20mm×（40~60）mm，渗碳后淬火，心部硬度 30HRC，表面硬度 34HRC，则该涂料的阻硬率 h 为

$$h=\left(1-\frac{34-30}{30}\right)\times100\%=\left(1-\frac{4}{30}\right)\times100\%=86.6\%$$

这样，可以认为作为防渗碳，涂料是合格的。如果另一种涂料防渗性能差，淬火后的心部硬度为 30HRC，表面硬度为 50HRC，则该涂料的阻硬率 h 为

$$h=\left(1-\frac{50-30}{30}\right)\times100\%=33\%$$

此种涂料应定为不合格品。

对于防渗硼、防渗氮、防渗铬、防渗铝等涂料，在本标准中采用了允许的最高硬度值 H_{max} 来衡量。如 38CrMoAl 钢渗氮后其防渗面如果硬度为 320HV10 以下，就便于车、磨、铣等加工。

在制定涂料标准时，考虑了上述情况，也考虑了国内外涂料水平，适当放宽了要求。

（3）涂料的厚度问题。对于防渗碳、防渗氮比较好的涂料只涂 1～2 次即可，其厚度为 0.3～0.5mm。

对于水剂的防渗涂料，如防渗铝涂料，在 1000℃以下起作用，涂覆 1～1.7mm，对防渗铬涂料，渗铬温度在 1000℃以上，需涂覆 2～2.5mm。

对于膏剂防渗涂料，需要厚一些，一般为 2.5～3mm。

（4）涂料的类型。按涂料组分与粘结剂划分，分为有机粘结剂、无机粘结剂、有机加工机粘结剂三种涂料。按状态分，分为糊体状、胶泥状两种，故在标准中按涂料状态分为甲型和乙型两种类型。

3. 涂料的清除

热处理后，涂料从工件上的清除也是一个重要性能。影响涂层清除的因素很多，除了涂层本身以外，还与工件材质、形状、热处理温度、降温方式、冷却速率、淬火冷却介质等有关。因此，这个问题比较复杂，我们希望涂层易于清除，但客观情况往往不尽如人意。为此，我们将清除方法根据方便的程度依次分为四类，一般要求涂料有较易清除的性能。（武汉材料保护研究所张炼、邹月荭供稿）

三、标准内容（JB/T 9199—2008）

防渗涂料　技术条件

1　范围

本标准规定了防渗涂料的一般技术要求。

本标准适用于在气体、固体化学热处理时，对工件起局部防渗作用的各种防渗涂料。

本标准不包括长期起防渗作用的防渗涂料和在熔盐中起防渗作用的防渗涂料。

2　引用标准

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 3095　环境空气质量标准

GB/T 8121　热处理工艺材料名词术语

GB/T 9450　钢件渗碳淬火硬化层浓度的测定和校核（GB/T 9450—2005，ISO 2639：2002，MOD）

GB/T 11354　钢铁零件渗氮层浓度测定和金相检验

JB/T 5069　钢铁零件渗金属层金相检验方法

JB/T 7709　渗硼层显微组织、硬度及层深检验方法

3　术语和定义

GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　防渗　diffusion stop-off

化学热处理时，阻止渗剂中产生的活性原子渗入工件表面的措施。

3.2　防渗面　stop-off area

进行化学热处理的工件需要防渗的表面。

3.3　防渗涂层　stop-off coating

在工件表面涂覆防渗涂料所形成的覆盖层。

4　分类

4.1　涂料及涂层清除方法分类

4.1.1　涂料按防渗作用分为下列品种：

a）防渗碳涂料；

b）防渗氮涂料；

c）防碳氮共渗涂料；

d）防氮碳共渗涂料；

e）防渗硼涂料；

f）防渗铬涂料；

g）防渗铝涂料。

4.1.2　防渗涂层使用后的清除方法分为四类：

1类：淬火出液后空冷时，任何部位上的涂层都能自行剥落；

2类：水洗或自粉化；

3类：机械清除（喷砂法）；

4类：化学清除（酸、碱溶液清洗）。

4.1.3　按涂料常温时的稀、稠程度分为两类：

甲型防渗涂料：用有机或无机粘结剂调制成的胶液。

乙型防渗涂料：膏状涂料。

4.2　分类标记

a）A——防渗涂料；

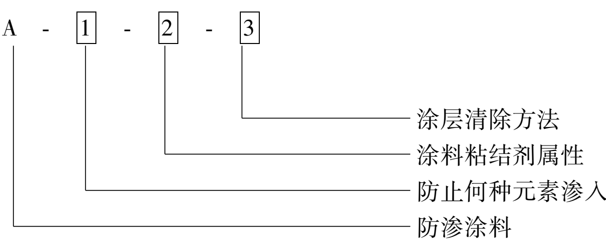
b）渗入元素分别用其他化学元素符号表示，例如：C——碳；N——氮；B——硼；Cr——铬；

c）涂料粘结剂用下列数字表示：0——无机粘结剂；1——有机粘结剂；2——有机加无机粘结剂；

d）化学热处理后，从工件表面清除涂层，按清除方法类别数表示（见4.1.2）。

4.3　涂料的分类标记

表征涂料属性的、完整的分类标记为：



示例1：某种防渗碳涂料，涂料的粘结剂为无机物，渗碳后用喷砂清除，则该涂料分类标记为：

A-C-0-3

示例2：某种防渗氮涂料，涂料采用有机粘结剂，渗氮后涂层自粉化，则该涂料分类标记为：

A-N-1-2

5　技术要求

5.1　防渗性能

涂层的防渗能力分为涂层防渗层的渗层厚度及防渗面的硬度。本标准选择后者，规定了涂层的防渗能力的合格指标。

5.1.1　涂覆涂层的防渗面经化学热处理后，应具有显著的防渗性能，且不影响工件的力学性能。

5.1.2　涂层的防渗性能按渗层特性分三种情况，分别用阻硬率 h、防渗面允许的最高硬度值 H_{max} 及阻渗率衡量。

5.1.2.1　对于防渗碳、防碳氮共渗的涂料用阻硬率 h 表示，规定 $h \geq 80\%$ 为合格。h 值按式（1）计算：

$$h = \left(1 - \frac{x - y}{y}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中　x——工件防渗面硬度；

y——工件心部硬度。

示例：20CrMnTi 钢渗碳或碳氮共渗淬火后，心部硬度为 300HV0.2，防渗面硬度为 321HV0.2 或 360HV0.2 时，h 值分别为 93% 及 80% 为合格。当防渗面硬度高于 360HV0.2 时，$h < 80\%$，为不合格。

当零件渗碳、碳氮共渗工艺规程规定了防渗面硬度要求时（例如齿轮防渗面硬度值一般要求 30～45HRC），涂料的防渗性能以防渗面硬度达到工艺规定的硬度值范围为合格。

5.1.2.2　对于防氮碳共渗、防渗硼涂料，规定工件防渗面的表面硬度 H_{max} 不高于 320HV0.2，即 $H_{max} \leq 320$HV0.2，该涂料为合格：$H_{max} \geq 320$HV0.2，则该涂料为不合格。

示例：38CrMoAl 钢调质渗氮后，心部的硬度为 270HV0.2，防渗氮处理表面硬度为 320HV0.2，即防渗氮涂料质量合格。

5.1.2.3　对于防渗铬、防渗铝涂料，以涂料的阻渗率 e 表示，规定 $e \geq 90\%$ 为合格。e 值按式（2）计算：

$$e = (1 - d/D) \times 100\% \quad (2)$$

式中　d——防渗面渗层深度；

D——非防渗面渗层深度。

示例：45 钢渗铬后，防渗面的渗层深度为 1.5μm，非防渗面渗层深度为 20μm，该涂料的阻渗率 e 等于 92.5% 为合格。45 钢渗铝后，防渗面的渗层深度为 5μm，非防渗面渗层深度为 35μm，该涂料的阻渗率 e 等于 85.7% 为不合格。

5.2　防渗涂料及其他有关性能

5.2.1　甲型涂料的悬浮性能

甲型涂料应易于搅拌。搅拌均匀的甲型涂料在 8h 内悬浮比值应大于 0.8（按 6.2 测试）。

5.2.2　甲型涂料的涂刷性能

甲型涂料应易于涂刷，涂刷指数 M 一般应为 5～6.5（按 6.3 测试）。

5.2.3　涂料的干燥性能

涂料涂覆后在干燥时不应开裂起皮。

在自然干燥的条件下，涂料应在 8h 内干燥至可进炉使用；在烘烤 80～90℃ 条件下，涂料应在 4h 内干燥。

5.2.4　干燥后涂层的强度

将具有已干燥涂层 ϕ10mm×5mm 的钢材试样，从 1m 高处自由落在水泥地上，除朝地的撞击面外，其他部位不应掉块或明显开裂。

5.2.5　涂料对淬火介质的污染

涂覆在工件上的涂料，在淬火时不能大量剥落污染淬火介质。

5.2.6　涂料对气氛和加热设备的影响

涂覆在工件上的涂料，在加热时不能对炉内气氛及加热元件、设备产生不良影响。

5.2.7　涂料对金属的腐蚀

涂覆在工件上的涂料，在化学热处理前后对基体都不应产生腐蚀作用，工件在 4 倍放大镜下检查应无腐蚀斑点。

5.2.8　涂料的贮存期

涂料存放在密封容器中，在规定的贮藏期内不应失去原有的性能。

5.2.9　环境保护

涂料对环境和人体不应产生有害影响。在 100℃以下涂料应不自然，产生的有害气体必须符合 GB 3095 的规定方可排入大气。

6　试验方法

6.1　涂料的取样方法

先将涂料搅拌均匀，然后取容器中心部位的涂料。

6.2　甲型涂料悬浮性测试方法

将涂料搅拌均匀，倒入 100mL 玻璃量筒中静置 8h，观察悬浮物分层高度，按式（3）计算：

$$U=\frac{H}{H_0} \tag{3}$$

式中　U——涂料的悬浮比值；

H——悬浮物分层高度；

H_0——涂料原始高度。

6.3　甲型涂料涂刷性的测试

使用 NDT-1 型旋转黏度计测试，先测出黏度计以 6r/min 速度旋转时涂料的黏度值 η_6，再测出以 60r/min 的速度旋转时涂料的黏度值 η_{60}，涂料涂刷指数 M 按式（4）计算：

$$M=\frac{\eta_6}{\eta_{60}} \tag{4}$$

6.4　防渗性能的测试

6.4.1　针对特定零件进行的防渗性能测试时，防渗试验应用与零件材质相同的试样和与零件处理工艺相同的测试工艺。在不针对特定零件时，除特别协议外，防渗试验所用试样和测试工艺应采用本标准 6.4.2～6.4.5 的规定。防渗试样的尺寸为 ϕ（15～20mm）×（50～80mm）。

6.4.2　防渗碳、防碳氮共渗涂料的试样规定采用 20CrMnTi 或 20CrMnMo 钢，经 930℃×12h 渗碳或 880℃×8h 碳氮共渗淬火后，测定试样心部和防渗面的显微维氏硬度。防渗面渗层深度和硬度的测量应符合 GB/T 9450 的规定。测量显微硬度的试验力规定为 0.2kgf（1.96N）。

6.4.3　防渗碳、防碳氮共渗涂料的试样规定采用 38CrMoAl 钢，经 560℃×18h 渗氮（或氮碳共渗）后，测定试样心部和防渗面的显微维氏硬度。测量显微硬度的试验力规定为 0.2kgf（1.96N）。防渗面渗层深度和硬度的测量应符合 GB/T 11354 的规定。

6.4.4　防渗硼涂料的试样规定采用 45 钢，经 950℃×6h 渗硼并退火后，测定试样心部和防渗面的显微维氏硬度。测量显微硬度的试验力规定为 0.2kgf（1.96N）。防渗面渗层深度和硬度的测量应

符合 JB/T 7709 的规定。

6.4.5　防渗铬、防渗铝涂料的试样规定采用45 钢，经 950℃ ×6h 渗铬或渗铝后，检测防渗面和非防渗面的显微组织及渗层深度。检测方法应符合 JB/T 5069 的规定。

7　标志、包装、贮存和运输

7.1　涂料包装应保证防潮、安全可靠。涂料应用瓶或塑料桶包装并密封。

7.2　涂料包装应有牢固、明显的标志，内容包括产品名称、型号、级别、商标、净重、批号、生产厂家、出厂日期及有效期。

7.3　涂料贮存、运输过程中应避免雨淋、受潮。

第五节　热处理保护涂料一般技术要求

一、概论

众所周知，工件在空气中加热会使表面氧化，甚至形成氧化皮，特别是在 570℃以上时，所形成的氧化膜以 FeO 为主，其结构疏松，氧化速度急剧加速；而且钢中的碳也会和氧气发生作用，使其表面失去部分碳，即脱碳；同时还会有部分合金元素发生氧化，从而使工件表面变色，生成氧化皮，力学性能下降。因此，加热过程中必须防止氧化、脱碳。

在国外，热处理保护涂料产品已系列化，例如：美国有 Tureo 和 Deltagarad 涂料系列，英国有 Bcrktc 涂料系列，日本有日本株式会社特种耐热涂料系列。美国波音飞机公司编制了专门热处理说明书 BAC 5756《热处理保护涂料的应用》，包含四类热处理保护涂料，其中Ⅰ类为防氧化涂料，适用于钢等材料，该说明书对涂层的喷涂和浸涂以及干燥等做了详细规定。

如何实现少无氧化脱碳加热，其基本原则就是避免工件表面与加热介质发生化学作用，防止工件表面发生氧化反应，目前常用的有真空热处理和保护气氛热处理，但是为实现这种工艺，必须具备相应设备和适当的气源。采用保护涂料是经济方便、切实可行、效果明显的防氧化脱碳的重要手段。为了使保护涂料的生产和使用规范化，推动技术进步，满足实际生产的需要，特编制本标准。

二、标准应用说明

1. 编制原则

本标准对保护涂料提出了满足热处理工艺需要的技术条件。为了便于热处理生产使用本标准提出了保护涂料的使用方法、检验方法、质量控制和贮运条件。

标准中提出的要求适用于结构钢、工模具钢、不锈钢、高温合金零件在空气炉中加热时，能够减少或防止氧化和脱碳、防止表面元素变化的各种保护涂料。

2. 本标准的条文规定及技术指标确定的来源及依据

（1）本标准 3.1 中规定“一般能满足总脱碳层深度小于或等于 0.075mm”的问题。在金属零件的热处理过程中，尽量减少被加热表面的氧化，防止零件表面合金元素贫化或渗入，是采用保护涂料的主要目的。对于结构钢、工模具钢，保护涂料必须具有一定的防脱碳能力。本标准规定“一般应满足总脱碳层深度小于或等于 0.075mm”，总脱碳层深度包括全脱碳层与半脱碳层深度之和。0.075mm 主要依据是国外涂料能够满足的要求和我国一些试验总结。

（2）涂料的黏度问题。本标准规定保护涂料的黏度应为 25 ~65s，这是根据用户来信意见定的。原稿中的黏度 16 ~65s 来源于航标 HB/Z 64—1981。如果出厂黏度过低时，用户不便于调整，故适

当提高了黏度。实际生产中浸涂和刷涂黏度为 20～65s，喷涂为 16～45s。至于黏度的测定方法是用 GB/T 1723 涂-4 黏度计进行测定，它是以开始到流完的时间为计量标准，目前尚无法换算成新的标准单位。

（3）原料细度问题。本标准规定保护涂料中的原料细度不大于 45μm，使用中如有粗大颗粒，应用 200 目铜丝网过滤后使用。该数据来源于 HB/Z 64—1981。原料细度测定可按 GB/T 1724 进行测定，规定原料细度主要为了满足涂料的涂层厚度要求和工艺需要。

（4）涂后的干燥时间和温度。涂层涂后的干燥时间和温度数字来源于 HB/Z 64—1981，这是实践总结出的经验。

（5）涂层剥落问题。涂层剥落问题是涂料使用中的一个关键问题，希望零件淬火后大部分涂料能自行脱落，残留涂层应能便于清除。脱落面积的 80% 和 90% 是征求意见中收集到的，如果涂料能达到标准中提到的脱落要求，应该说是相当不错的。

（6）使用方法的规定。使用方法的规定（浸涂法、刷涂法和喷涂法）来源于 HB/Z 64—1981 和生产实践经验。若按本标准规定的方法进行生产，肯定能达到预想的保护目的，当然涂料要合乎要求。

（7）检验方法。本标准中 4. 6. 3 规定“喷涂用的压缩空气应过滤，保证无油和无水。其检验方法推荐为：“用一块 70mm×100mm（厚度不限）清洁干燥的铝合金做试板，对准压缩空气的喷嘴，中心距离为 200～250mm，开足压缩空气冲击试板表面 15～30s，目视检查试板无油无水为合格”。这是上海飞机公司目前采用的仿照美国麦道公司的标准方法，也是当今现行有效的国外最新经验。

（8）停放时间问题。本标准 4. 6. 6 中规定，“涂层干燥后，零件应防止受潮并及时进行热处理，一般停放不得超过 48h”，这主要是根据实践经验和来信意见，时间过长极易吸潮，保护效果变差。

（9）涂料的有效期。本标准对涂料的有效期没有明确规定，主要是根据我国现有情况和来信意见定的。原稿定为一年，实际上办不到。我国零用小批较多，打开包装后有时过了一二年，效果仍然还可以，弃掉造成浪费。所以本标准只要求在合格的内容上明确写上即可，不做硬性规定。

（10）涂料的质量控制。本标准加上了“涂料的质量控制”（第 6 章）一章，这是仿照美国军标而定的。

3. 需要说明的几个具体问题

（1）本标准提出了结构钢、工模具钢、高温合金和钛合金热处理用的各种保护涂料的一般技术要求。

（2）本标准以满足热处理工艺要求为主，至于涂料的具体组成未列入标准条文，只要能满足标准要求的有机和无机涂料均可。至于具体选用哪一种涂料，请根据涂料说明书选用，本标准列入了涂料说明书有关内容要求。

（3）关于保护效果问题，应根据零件对脱碳的具体技术要求，不一定一律追求不大于 0. 075mm（对钢制件而言）。对不锈钢、高温合金和钛合金的保护效果更应根据零件具体要求决定。（北京航空材料研究院王广生、张文尚供稿）

三、标准内容（JB/T 5072—2007）

热处理保护涂料一般技术要求

1 范围

本标准规定了金属热处理保护涂料的一般技术要求、使用方法、检验方法、质量控制和贮运条件。

本标准主要适用于结构钢、工模具钢、不锈钢、高温合金和钦合金零件的各种保护涂料

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 224　钢的脱碳层深度测定法

GB/T 1723—1993　涂料黏度测定法（neq ГОСТ 8420：1974）

GB/T 1724—1993　涂料细度测定法

3　技术要求

3.1　保护涂料在热处理过程中，根据零件的不同要求，对被保护金属具有明显的防止或减少氧化，以及防止零件表面合金元素贫化或渗入的能力。对不锈钢、高温合金和钛合金具有抗合金元素贫化或渗入的能力；对结构钢、工模具钢具有一定的防脱碳能力。一般应能满足总脱碳层深度小于或等于0.075mm的能力。

3.2　保护涂料的黏度应为25～65mm^2/s。按GB/T 1723—1993中涂-4黏度计进行测定。

3.3　保护涂料中的原料细度应不大于45μm，按GB 1724进行测定。

3.4　保护涂料不应有结块，对被保护金属应有良好的润湿性，在使用时便于喷涂、刷涂或浸涂，涂层应均匀完整、无瘤痕、附着性能好。

3.5　涂层在室温下2h内应能干燥，在60～100℃范围30min内应能干燥。

3.6　涂层应有好的剥落性能。在零件淬火水冷后，90%以上的涂层面积应能自行脱落；油冷后，80%以上的涂层面积应能自行脱落。残留涂层应便于清洗，脱落的涂层不应污染淬火介质。

4　使用方法

4.1　零件

零件被保护的表面，必须清洁，不得有锈斑、油污、脏物等。可采用喷砂清理或清洗剂清洗，清洗后及时涂覆。

4.2　涂料

4.2.1　涂料应充分搅拌均匀。

4.2.2　如有粗大颗粒，应用200目铜丝网过滤后使用。

4.2.3　根据涂覆方法的不同，可按使用要求用溶剂将涂料调至所需要的黏度；浸涂或刷涂20～65s；喷涂16～45s。

4.3　涂覆

4.3.1　根据被保护零件的尺寸、形状和面积大小，可采用浸涂法、刷涂法或喷涂法。

4.3.1.1　浸涂法：适用于形状简单的小零件整体保护或端头的局部保护。

将零件被保护部分慢慢浸入涂料溶液中，停留10～20s后，再缓缓提起，甩掉或从零件下端刮去多余的涂料溶液。

4.3.1.2　刷涂法：适用于大零件的局部保护。

应使用软毛刷均匀刷涂，用力不宜过大。

4.3.1.3　喷涂法　适用于形状复杂和大、中零件的整体保护或局部保护。

可采用喷漆喷枪均匀喷涂，风压为0.2～0.4MPa。

4.3.2　为保证涂层均匀、致密、完整，可多次涂覆。

多次涂覆时，必须在前一涂层干燥后才能进行下一次涂覆，干燥程度以不产生流挂为原则。多

次刷涂时，下次刷涂方向应与前次方向垂直。

4.3.3　涂层厚度应根据工艺要求与涂料性能而定，一般可控制在0.1~0.5mm。

4.4　涂层的干燥

涂覆好的涂层必须充分干燥。在室温下的晾干不得少于2h；在60~100℃下烘干不得少于30min。

4.5　残留涂层的去除

通常可用喷砂方法清除残留在零件上的涂层。

4.6　工艺控制

4.6.1　根据被保护材料的种类和热处理工艺的要求，合理选择涂料。

4.6.2　操作者应戴清洁手套，使清理干净的零件不被再次污染，以保证涂层与金属的附着力。

4.6.3　喷用的压缩空气应过滤，保证无油和无水。其检验方法推荐为：

用一块70mm×100mm（厚度不限）清洁干燥的铝合金做试板，对准压缩空气的喷嘴，中心距离为200~250mm，开足压缩空气冲击试板表面15~30s。目视检查试板，无油、无水为合格。

4.6.4　干燥后的涂层，必须均匀、致密、完整、无裂纹、无气泡、不起皮、无剥落。涂层的厚度和均匀性应符合工艺要求，可用杠杆千分尺或测厚仪测定。

4.6.5　涂覆过的零件在放置、搬运、装炉过程中应防止碰撞和接触油污。如发现涂层有裂纹、脱落等情况，允许补涂。

4.6.6　涂层干燥后，零件应防止受潮并及时进行热处理，一般停放不得超过48h。

4.6.7　使用涂料时，应有抽风设备并注意防火。

5　涂层性能的检验方法

5.1　试验用试样

检验试样所用材料必须与零件相同，表面粗糙度 Ra 为3.2μm，不得有脱碳和氧化色。按零件工艺要求涂覆涂料至规定厚度，涂层干燥后，试样随零件同炉同工艺进行热处理。

5.2　抗氧化性能

可用100mm×100mm（厚度不限）的试板或 $\phi5\sim\phi20$mm 的试棒。热处理后用10倍放大镜检查表面，应无腐蚀和明显氧化色。

5.3　防脱碳性能

热处理后，按GB/T 224的规定，用金相法或硬度法测定总脱碳层深度，结果应能满足3.1的要求。

5.4　抗合金元素贫化和元素渗入性能

热处理后的试样根据具体情况可采用化学分析或电子探针等方法进行检查，结果应无合金元素贫化和元素渗入现象。

5.5　涂层剥落性能

涂层的剥落面积比按下式计算：

$$\text{涂层剥落面积比}=\frac{\text{露出试样基体表面的面积}}{\text{试样的总表面面积}}\times100\%$$

6　涂料的质量控制

6.1　涂料生产必须严格按照配方和有关工艺规程进行。

6.2　当涂料的原料来源、配方、工艺发生重大变化时应通知用户。

6.3　用户保留按本标准对购进涂料进行复验的权利。

7　标志、包装、贮存和运输

7.1　涂料包装和运输应符合国家运输有关规定。

7.2　涂料包装应有明显标志。内容：产品名称、商标、安全标志、净重、批号和生产厂家。

7.3　涂料包装内应有产品合格证和使用说明。合格证内容包括：产品名称、本标准号、型号、级别、批号、检验员号、生产日期及有效期；使用说明应包括：使用温度、时间、被保护材料、稀释剂名称、使用黏度、使用方法及贮存运输中的注意事项等。

7.4　含有有机溶剂的涂料在贮存时要密封好，置于通风阴凉处，必须远离热源，切勿接触明火。

第六节　热处理常用淬火介质技术要求

一、概论

淬火介质是热处理行业中重要的工艺材料之一，其质量是影响产品热处理质量的关键性因素之一，必须有效地控制以及合理地使用它。本标准的制定对保证热处理工艺质量的稳定和可靠具有重要意义。

在标准的内容上，结合国内外关于常用淬火介质的有关技术要求，同时对原有标准进行了相应的添加补充修改，逐步形成适应我国热处理淬火介质需要的体系，力求符合我国机械行业热处理生产的实际情况，尽力做到先进、合理、安全、可靠，为生产和使用提供必要的保证条件。

编制本标准的主要参考资料，有我国热处理行业已制定的标准，如 JB/T 9202《热处理用盐》，JB/T 4393《聚乙烯醇合成淬火剂》，JB/T 4392《聚合物水溶性淬火介质测定方法》，JB/T 7951《测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头实验方法》，JB/T 16924《钢件的淬火与回火》，JB/T 4202《钢的锻造余热淬火回火处理》，JB/T 4218《硼砂熔盐渗金属》，GB/T 22561《真空热处理》，以及 JB/T 10175《热处理质量控制要求》和石化总公司标准《热处理油》等，同时还有生产水溶液淬火介质企业制定的技术条件、产品说明书等。

此外，随着我国节能减排工作的陆续开展，对于淬火介质的使用环境及对环境可能产生的影响，本标准在制定时也进行了相应的说明，同时参照了 GB/T 15735《金属热处理生产过程安全、卫生要求》，GB/T 17145《废润滑油回收与再生利用技术导则》等标准要求。

二、标准应用说明

1. 适用范围的确定

淬火介质包括很多种类，其分类方法也不相同。本标准主要针对热处理过程中常用的液体介质，如水和各种水溶液、油类和热浴等，规定了其一般技术要求（专用技术要求除外）。本标准不包括金属浴、流态床及气体等介质。这些介质由于使用范围较为狭窄，同时缺乏一定的共性要求，不在本标准制定范围内，使用时，应根据热处理工艺自行制定其专用技术要求。

2. 淬火介质的分类

到目前为止还没有专门和统一的分类方法，根据国内外有关热处理技术资料，大致有两种分类情况：

（1）按淬火介质的组成物质状态分类

第一类：液体淬火介质

水

水溶液：无机物水溶液、有机物水溶液、乳化液和两种以上物质的混合溶液。

淬火油：全损耗系统用油、专业淬火油。

热浴：熔融的盐浴、碱浴、盐碱混合浴和金属浴等。

第二类：气体淬火介质

空气和氮、氩、氦等惰性气体。

第三类：固态淬火介质

金属板、金属模（内通水冷却）还有固体粒子与压缩空气或水混合组成流态层介质。

（2）按淬火介质在金属工件淬火时所发生的物态变化分类

第一类：淬火时发生物态变化的介质，包括水、各种水溶液和淬火油等。

第二类：淬火时不发生任何物态变化的淬火介质，包括各种熔盐、熔碱、熔融金属等。

本标准中的分类，主要针对热处理生产中常见淬火介质为分类的对象，而常用淬火介质主要用量大的是液体淬火介质，根据其不同的组成和不同的使用状态划分了如下类别：

第一类：水及水溶液

水和以水为基加入不同的添加剂组成的无机物水溶液和有机物水溶液。

第二类：油

矿物油和以不同矿物油为基加入不同添加剂而成的专用淬火油。

第三类：热浴

熔融状态下的盐浴、碱浴等（其中不包括金属浴，因其属于逐渐淘汰品种）

在制定本标准过程中，在原标准分类基础之上，将水及水溶液的分类标准进一步明确，原标推分类为“水、无机物水溶液以及有机物水溶液”，现标准将其更改为“水、无机盐水溶液淬火介质以及聚合物淬火剂”，从名称上更加清晰地界定在行业内应用较为广泛的介质种类。

3. 技术要求的确定

本标准在原标准基础上，规范并标出了封面的各种信息，调整并填充了“前言”中的相关要素，规范了“规范性引用文件”的导语，增加了规范性引用文件，并对采标项目做了标记，在技术要求中增加了淬火介质的更换指标及淬火介质的使用、维护管理要求。

本标准制定范围为常用淬火介质。水及水溶液、油和热浴三类是当前各企业用量较大的介质。鉴于不同淬火介质种类及成分不同，以及使用情况的差异，技术要求都有所区别，因此只能根据在通常情况下，所具备共性的环节和因素，提出淬火介质的一般技术要求，超出一般情况的特殊（专用）淬火介质，须制定专用的技术要求，以达到控制淬火介质使用质量的目的。

本标准在原标准基础上对技术要求进行了调整，主要根据淬火介质行业不断的发展，现场生产的实际情况和要求，通过分析整理对某些技术要求进行了修改，同时对一些新的介质提出了新的技术要求。

本标准对原有术语进行了一定的删除和修改，将原有术语中关于无机物水溶性淬火介质、有机物水溶性淬火介质、专用淬火油的定义从本标准中删除；对添加剂的术语定义进行了明确，将添加剂变更为冷速调整添加剂；新增了特性温度的概念，明确提出了特性温度点的定义。

标准中对淬火介质所用原材料的规定，除符合原有原材料的技术要求外，将无机盐符合 ZB J36 007中的规定，更改为符合 GB 210.1 及 JB/T 9202 规定的技术要求；同时对于聚合物应符合该产品的专用技术条件，将原有的有机物淬火介质变更为聚合物淬火介质；专用淬火油符合生产厂企业标准，新增基础油应采用精制矿物油的标准要求。

本标准新增了常用水溶液淬火介质浓缩液的物理化学性能，规定了聚丙烯酸钠淬火剂、聚乙烯醇合成淬火剂、PAG 聚合物淬火剂相应产品的外观目测、密度、运动黏度、浊点、pH 值、折光率

等相关数据检测要求。对于常见淬火油的物理化学性能也提出了具体的指标要求，本标准详细罗列出了常见淬火油，包括快速光亮淬火油、快速淬火油、快速等温（分级）淬火油、等温（分级）淬火油、快速真空淬火油、真空淬火油、回火油、L-AN 全损耗系统用油的 40℃时运动黏度、闪点、倾点、水分等指标。标准中所规定的相关产品的物理化学性能均有一定的范围指标，以最大限度地满足产品的技术指标要求。

常用淬火介质的一般技术要求及应用范围，主要对使用条件进行了重新说明，对淬火油中的 L-AN 全损耗系统用油、专用淬火油使用条件进行了重新说明。油品的最高使用油温应低于闪点 80℃，常规油温为 20℃ ~80℃，热油油温大于 80℃。

本标准对提供淬火介质的生产厂家也进行相应的要求，规定供应商须给用户提供淬火介质的工艺操作指导文件，必要时提供材料数据安全表（MSDS）；提出了淬火介质的包装、贮运及交货验收规则应符合相关标准的规定；同时供应商在交货时须向客户提供产品合格证和质量保证书，其相关技术要求按照本标准中制定的常见水溶液淬火介质、常用淬火油的物理化学性能指标。

本标准新增了淬火介质检测项目及检测周期，淬火介质的使用、维护管理要求两项新的技术要求。标准规定了使用中的淬火介质槽液应定期进行检测，分别对水溶液、油、盐浴、碱浴从检测项目、检测方法、周期进行了规定，提出当分析不符合技术要求时，必须加以调整或更换，特别提出了淬火介质的更换标准。对于水溶液淬火介质的更换，标准规定：当水溶液发黑、发臭后，添加足量的杀菌剂也不能得以改善时，即需更换；水溶液冷却速度变快后，补充足量的新液，冷却性能也不能得以改善时，即需更换。对于淬火油，当运动黏度增加 50%，水分≥1%，酸值增加值≥1mg KOH/g，以及补充冷速调整添加剂冷却特性也不能得以改善时，即需更换。

对于淬火介质的使用寿命，标准中规定，聚乙烯醇淬火介质的使用寿命不低于三个月，PAG 类淬火介质的使用寿命不低于一年，淬火油的使用寿命不低于一年。

标准中淬火介质的使用、维护管理要求，是针对各类介质的不同使用特点，结合客户在使用过程中所容易出现的问题而特别编制的，分别就水溶液淬火介质、淬火油、盐浴、碱浴的使用和维护提出了相关具体要求。对水溶液淬火介质，在配制过程中对油污的处理、浓度控制、泡沫过多、发臭等具体问题，提出了相关的处理意见；对淬火油的使用维护部分，详细描述了对油温、循环搅拌、含水量、杂质控制、油品中气体含量及冷却特性调整控制等具体内容；对盐浴、碱浴介质也提出了相关具体要求。以上使用维护管理的提出方便了淬火介质用户，在日常生产管理中，为制定操作规范提供了参考及依据。

本次标准修订中，还对淬火介质的回收及再生、淬火介质的安全要求提出了相关要求。本标准规定淬火介质的回收与再生应符合 GB/T 17145 的规定，淬火介质的安全使用应符合 GB 15735 的规定。

4. 附录 A 中常用淬火介质冷却特性典型数据的说明

原标准附录 A 中所采用的试验方法为 GB/T 4994 中规定的方法，采用的是银探头，不能较为客观地反映出钢材在淬火介质中冷却时淬火介质的冷却速度。本次修订标准采用了 JB/T 7951 中规定的检测方法，此标准等同于 ISO 9950，采用的镍铬合金探头，最大限度地模拟实际热处理工件在淬火介质中冷却的冷却性能，更加准确地反映出淬火介质冷却性能的优劣，对选择淬火介质处理合适的钢种，提供了数据支持。

附录中对常见水及水溶液、淬火油、盐浴、碱浴都提出了相关检测数据，供实际使用中参考，其中在自来水部分对相关的检测温度进行了更改，在水溶液的测量温度上面，从原来的 20℃变更为 30℃，对一些不常用的水溶液进行了剔除，对一些新型淬火介质数据进行了增补，例如增补了复合盐类淬火液、PAG 聚合物水溶液的数据，剔除了聚醚类水溶液的数据等。对淬火油的冷却特

性数据进行了进一步的完善，对常见专业淬火油的冷却特性数据都进行了测定和归纳，其中对于L-AN全损耗系统用油，通过添加8%、10%冷速调整添加剂也进行了测定。本标准详细列举了不同专用淬火油的冷却特性数据。

本次修订标准中，热浴成分含量的分析实验，是在参阅有关资料进行制定的，未进行实际实验。若经验证或发现有更为简便有效的方法，今后将适时予以吸取补充。

本标准明确了在热处理日常生产过程中所面临的淬火介质使用、管理、检验等内容。热处理工艺质量控制是一个系统工程，热处理用淬火介质是系统工程中的一部分，只有与其他环节紧密配合才能保证产品质量的提高。（南京科润工业介质股份有限公司聂晓霖供稿）

三、标准内容（JB/T 6955—2008）

热处理常用淬火介质　技术要求

1　范围

本标准规定了热处理常用淬火介质的分类和技术要求。

本标准适用于金属材料及其制件淬火时采用的水溶液、油、热浴三类介质。

本标准不包括金属浴、流态床及气体等淬火介质。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 209　工业用氢氧化钠

GB 210.1　工业碳酸钠及其试验方法　第1部分：工业碳酸钠（GB/T 2101—2004，BS 3674：1981，MOD）

GB/T 260　石油产品水分测定法

GB/T 264　石油产品酸值测定法

GB/T 265　石油产品运动黏度测定法和动力黏度计算法

GB 443　L-AN全损耗系统用油

GB/T 614　化学试剂　折光率测定通用方法

GB/T 1884　原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）（GB/T 1884—2000，eqv ISO 3675：1998）

GB/T 1919　工业氢氧化钾（GB/T 1919—2000，neq ГОСТ 9285：1978（1995））

GB 3095　环境空气质量标准

GB/T 3535　石油产品倾点测定法（GB/T 3535—2006，ISO 3016：1994，MOD）

GB/T 3536　石油产品闪点和燃点测定法（克利夫兰开口杯法）（GB/T 3536—1983，eqv ISO 2592：1973）

GB/T 5559　环氧乙烷型及环氧乙烷-环氧丙烷嵌段聚合型非离子表面活性剂　浊点的测定（GB/T 5559—1993，eqv ISO 1065：1991）

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

GB/T 9724　化学试剂　pH值测定通则（GB/T 9724—2007，ISO 6353-1：1982，NEQ）

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 17145　废润滑油回收与再生利用技术导则
JB/T 4392　有机物水溶性淬火介质性能测定方法
JB/T 4393　聚乙烯醇合成淬火剂
JB/T 7951　测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头实验方法
JB/T 9202　热处理用盐

3　术语和定义

GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　冷速调整添加剂　cooling rate adjustment additive

为了改善淬火介质的冷却特性而加入的添加剂。

3.2　特性温度　characteristic temperature

工件在淬火介质中冷却时，存在三个冷却阶段，即蒸汽膜冷却阶段、沸腾冷却阶段、对流冷却阶段。特性温度是指由蒸汽膜冷却阶段向沸腾冷却阶段转变的开始温度。

4　常用淬火介质分类

常用淬火介质分类见表 1。

表 1　常用淬火介质分类

类　别	名　称	类　别	名　称
水及水溶液	水 无机盐水溶液淬火介质 聚合物淬火剂	油	L-AN 全损耗系统用油 专用淬火油
		热浴	盐浴 碱浴

5　技术要求

5.1　淬火介质或所用的原材料

应符合相应的标准和技术条件的规定。

5.1.1　无机盐应符合 GB 210.1 及 JB/T 9202 的规定。

5.1.2　碱应符合 GB 209 及 GB/T 1919 规定。

5.1.3　聚合物应符合该产品的专用技术条件，如聚乙烯醇合成淬火剂浓缩液应符合 JB/T 4393 规定。

5.1.4　L-AN 全损耗系统用油应符合 GB 443 技术条件。

5.1.5　专用淬火油应符合生产厂企业标准，基础油应采用精制矿物油。

5.2　常用淬火介质物理化学性能

5.2.1　常用水溶液淬火介质浓缩液的物理化学性能见表 2。

表 2　常用水溶液淬火介质浓缩液的物理化学性能

淬火介质（浓缩液）	物理化学性能					
	外观目测	密度（GB/T 1884）/（g/cm³）	运动黏度(40℃，GB/T 265)/(mm²/s)	浊点(不低于，GB/T 5559)/℃	pH 值（GB/T 9724）	折光率（GB/T 614，不低于）
聚丙烯酸钠淬火剂	浅黄色黏稠液体	1.05～1.15	—	—	6～8	—
聚乙烯醇合成淬火剂	浅黄色半透明液体	1.05～1.15	—	—	6～8	1.34
PAG 聚合物淬火剂	微黄色黏稠液体	1.05～1.15	200～700	70	8～10	1.39

5.2.2 常用淬火油的物理化学性能见表3。

表3 常用淬火油的物理化学性能

淬火介质	运动黏度(不大于,GB/T 265)/(mm²/s)		闪点(GB/T 3536,不低于)/℃	倾点(GB/T 3535,不高于)/℃	光亮性无标准(不大于)/级	水分(GB/T 260)(%)
	40℃	100℃				
快速光亮淬火油	38	—	170	-9	—	痕迹
L-AN全损耗系统用油 N15	13.5~16.5	—	150	-5	1	痕迹
L-AN全损耗系统用油 N32	28.8~35.2	—	150	-5	—	痕迹
快速光亮淬火油	38	—	170	-9	1	痕迹
快速淬火油	28	—	160	-9	2	痕迹
快速等温(分级)淬火油	70	—	210	-8	2	痕迹
等温(分级)淬火油	120	—	230	-5	2	痕迹
快速真空淬火油	35	—	190	-9	1	痕迹
真空淬火油	70	—	210	-8	1	痕迹
回火油	—	35	260	-5	—	痕迹

注:试样的水分少于0.03%,认为是痕迹。

5.3 常用淬火介质一般技术要求

5.3.1 常用淬火介质一般技术要求及应用范围见表4,其常用冷却特性典型数据见附录A。

表4 常用淬火介质一般技术要求及应用范围

淬火介质		一般技术要求	使用条件	应用范围
水及水溶液	水	清洁、流动	水温20~40℃;或循环或搅拌	碳素结构钢、碳素工具钢、低合金结构钢、铝合金、铜合金、钛合金
	无机盐水溶液淬火介质	按要求选择浓度;常用浓度(5%~15%);高浓度(≥20%、饱和浓度);pH值6.5~13	液温20~45℃;或循环或搅拌	碳素结构钢、低合金结构钢、碳素工具钢
	聚合物水溶液	按专用产品技术条件及要求选择浓度;低浓度、中等浓度、高浓度;pH值8~12(或按专门规定)	液温20~50℃;或循环或搅拌	碳素结构钢、合金结构钢、轴承钢、弹簧钢、碳素工具钢、合金工具钢、铝合金、球墨铸铁、灰铸铁
淬火油	L-AN全损耗系统用油	按GB 443技术条件	最高使用油温应低于闪点80℃;常规油温20~80℃;热油油温>80℃;或循环或搅拌	碳素工具钢、合金结构钢、合金工具钢、轴承钢、弹簧钢、高速钢
	专用淬火油	按工艺要求选择不同淬火油(快速、光亮、等温、真空及回火油);技术条件按生产厂企业标准		
热浴	盐浴	按要求浴温选择配方(见表A.6);硝盐浴氯离子≤0.3%;硫酸根≤0.5%;pH值6.5~8.5	使用温度允许波动范围±10℃	碳含量≥0.45%碳素结构钢、碳素工具钢、合金结构钢、合金工具钢、高速钢
	碱浴	按要求选择配方(见表A.6);碳酸根≤4%	使用温度允许波动范围±10℃	

5.3.2　淬火介质在冷却时不应对热处理制件产生不良影响。

5.3.3　供应商应给用户提供淬火介质的工艺操作指导文件，必要时提供材料数据安全表（MSDS）。

5.3.4　淬火介质对环境的影响应符合 GB 3095 规定。

5.3.5　淬火介质的包装、贮运及交货验收规则应符合相关标准的规定。

5.3.6　供应商交货时应按表 2、表 3 为用户提供产品合格证和质量保证单。

5.4　检测项目及检测周期

5.4.1　使用中的淬火介质槽液应定期进行检测。检测项目及检测周期见表 5。

表 5　检测项目及检测周期

淬火介质	检测项目	检测方法	周　期
水溶液	密度、浓度、黏度、pH 值	JB/T 4392	连续使用 3 ~7 天
	冷却特性	JB/T 7951	
油	水分	GB/T 260	连续使用 3 ~6 个月
	闪点	GB/T 3536	
	酸值	GB/T 264	
	黏度	GB/T 265	
	冷却特性	JB/T 7951	
盐浴、碱浴	碳酸根、硫酸根、氯离子、水及不溶物含量	GB 209、GB 210.1、GB/T 1919、JB/T 9202	1 个月
	pH 值	GB/T 9724	

注：1. 分析项目允许根据淬火介质具体情况选择或增设内容。
2. 分析周期允许根据实际生产情况延长或缩短。

5.4.2　将淬火介质搅拌均匀后，从淬火槽有代表性部位取适量的样品进行分析试验。

5.4.3　经分析不符合技术要求时，必须加以调整或更换。

5.4.4　淬火介质的更换：

5.4.4.1　水溶液淬火介质的更换

当水溶液发黑、发臭后，添加足量的杀菌剂也不能得以改善时，即需更换；水溶液冷却速度变快后，补充足量的新液，冷却性能也不能得以改善时，即需更换。

5.4.4.2　淬火油的更换

淬火油的更换指标见表 6。

表 6　淬火油的更换指标

项目	更换指标
运动黏度（40℃）	比新油增加 50%
水分	≥1%
酸值	比新油增加 1mgKOH/g
冷却特性	补充冷速调整添加剂也不能得以改善时，即需更换

5.4.5　淬火介质使用寿命：

淬火介质的使用寿命长短，取决于介质的种类。聚乙烯醇类的淬火介质，使用寿命应不低于三个月；PAG 类的淬火介质，使用寿命应不低于一年；淬火油的使用寿命应不低于一年。

5.5　淬火介质的使用、维护管理要求

5.5.1　水溶液淬火介质的使用和维护管理要求

5.5.1.1　淬火液配制时，应排净系统中的水或油，并用工业清洗剂和清水将淬火槽、循环管道彻底清洗干净。

5.5.1.2　每半年至一年对淬火液进行一次沉淀、滤渣处理，保持淬火液的清洁。

5.5.1.3　淬火液应定期进行补充，控制有效浓度，从而控制冷却特性。在使用中，若有泡沫过多或发臭现象，可分别通过添加消泡剂或杀菌剂来进行控制。

5.5.1.4　淬火后的工件用清水或淬火液进行清洗，清洗液补充至淬火槽中，使淬火剂回收利用，可显著减少淬火剂的消耗。

5.5.2　淬火油的使用和维护管理要求

5.5.2.1　油温的选择和控制

在满足淬火要求和安全使用要求的前提下，应选择较低的使用油温，以延长油的使用寿命。在使用过程中，应进行监测或控制，使油温保持在规定的温度范围内。

5.5.2.2　循环搅拌控制

应根据工件的材质、形状、尺寸，设定合适的循环搅拌。

5.5.2.3　油中含水量的控制

使用中油的含水量超过 0.03% 或影响产品质量和使用安全时，应采用加热脱水或破乳沉降等方法进行处理。

5.5.2.4　油中杂质含量的控制

应定期沉淀、过滤、清理油槽及循环系统中的粉屑、铁锈皮、油泥、油渣等杂质，每年不少于一次。淬火油光亮性变差，杂质增多，可采用过滤或添加除碳剂进行除碳净化处理。

5.5.2.5　油中气体含量的控制

新油使用前，应采用加热的方法，去除其中的气体。一般快速油加热至 80～90℃，循环搅拌 48～72h；等温分级淬火油加热至 95～105℃，循环搅拌 48～72h；真空油应进行脱气处理。

5.5.2.6　冷却特性调整

淬火油冷却特性变差，可通过补加冷速调整添加剂进行调整。

5.5.3　盐浴、碱浴的使用和维护管理要求

5.5.3.1　盐浴炉或碱浴炉的新炉或新修炉使用前，应按规定进行烘炉。

5.5.3.2　盐浴使用盐的化学成分须符合相应的标准，使用前要按规定配比并烘干。

5.5.3.3　必须随时注意盐浴炉的使用温度应在工艺规定范围内，不能出现跑温和降温现象。温度控制系统应工作正常。硝盐炉的使用温度不得超过 580℃，防止含碳的可燃物进入硝盐浴中，以防熔盐爆炸。

5.5.3.4　工件在盐浴炉中不得与炉壁、炉底相碰，工件相互间也不得相碰，工件与电极之间应保持有 50mm 的距离，以防工件烧伤。

5.5.3.5　绝对禁止将硝盐带入中、高温盐浴炉中。

5.5.3.6　按规程定期进行脱氧与捞渣。

6　淬火介质的回收及再生

淬火介质的回收与再生应符合 GB/T 17145 的规定。

7　淬火介质的安全要求

淬火介质的安全使用符合 GB 15735 的规定。

附　录　A
（资料性附录）
常用淬火介质冷却特性典型数据

按 JB/T 7951 试验方法规定，测定了几种常用淬火介质的冷却特性。供使用淬火介质时参考。

A.1　水及水溶液

A.1.1　不同温度下的自来水，静止及搅拌时的冷却特性见表 A.1。

表 A.1　不同温度下的自来水，静止及搅拌时的冷却特性

淬火介质	液温/℃	状态	冷却特性		
			最大冷速所在温度/℃	最大冷却速度/（℃/s）	300℃冷却速度/（℃/s）
自来水	10	静止	669	253	83.0
	30	静止	614	218	83.0
	30	搅拌	660	236	91.2
	50	静止	584	172	83.0
	70	静止	450	122	76.8

A.1.2　30℃的无机盐水溶液，静止时的冷却特性见表 A.2。

表 A.2　30℃的无机盐水溶液，静止时的冷却特性

淬火介质	浓度（%）	密度/（g/cm³）	冷却特性		
			最大冷速所在温度/℃	最大冷却速度/（℃/s）	300℃冷却速度/（℃/s）
氯化钠水溶液	5	1.0311	714	266	96.0
	10	1.0744	720	272	93.0
	20	1.1477	678	178	88.6
	30	1.1999	650	146	81.5
氯化钙水溶液	5	1.0399	692	247	90.2
	10	1.0818	691	243	88.1
	20	1.1838	671	241	84.2
	40	1.3299	661	233	78.3
碳酸钠水溶液	5	1.0232	699	262	86.5
	10	1.0421	699	245	87.2
	20	1.0818	664	210	85.3
氢氧化钠	5	1.0529	693	286	91.8
	10	1.1144	703	291	95.7
	15	1.2255	690	297	86.5
	20	1.3277	685	277	84.3
复合盐类淬火液	3	1.0261	638	239	94.2
	6	1.0502	660	260	96.3
	10	1.0853	669	264	95.3

A. 1. 3　30℃的聚合物水溶液，静止时的冷却特性见表 A. 3。

表 A. 3　30℃的聚合物水溶液，静止时的冷却特性

淬火介质	浓度(%)	液温/℃	冷却特性		
			最大冷速所在温度/℃	最大冷却速度/（℃/s）	300℃冷却速度/（℃/s）
聚丙烯酸钠水溶液	5	30	343	93	84. 0
	10		291	66	64. 6
	15		257	56	41. 4
	20		271	52	48. 1
聚乙烯醇水溶液	0. 1	30	623	200	82. 6
	0. 3		549	159	55. 2
	0. 5		506	135	43. 0
	0. 8		472	102	33. 2
PAG 聚合物水溶液	5	30	705	179	80. 5
	8		700	170	68. 1
	10		731	165	58. 6
	12		710	158	47. 4
	15		707	153	43. 7
	20		710	145	39. 5

A. 2　淬火油

A. 2. 1　L-AN 全损耗系统用油不同温度静止时及添加不同比例冷速调整添加剂后的冷却特性见表 A. 4。

表 A. 4　L-AN 全损耗系统用油不同温度静止时及添加不同比例冷速调整添加剂后的冷却特性

淬火介质	油温/℃	冷却特性		
		最大冷速所在温度/℃	最大冷速/（℃/s）	特性温度/℃
L-AN32 全损耗系统用油	40	526	49	580
	60	535	53	590
	80	532	52	586
L-AN15 全损耗系统用油	40	510	57	576
	60	511	58	578
	80	518	56	570
L-AN15 +8% 冷速调整添加剂	80	597	99	695
L-AN15 +10% 冷速调整添加剂		605	101	702

A. 2. 2　专用淬火油不同温度静止时的冷却特性见表 A. 5。

表 A. 5　专用淬火油不同温度静止时的冷却特性

淬火介质	油温/℃	冷却特性		
		最大冷速所在温度/℃	最大冷速/（℃/s）	特性温度/℃
快速光亮淬火油	40	606	99	702
	60	598	100	702
	80	591	99	702

（续）

淬火介质	油温/℃	冷却特性		
		最大冷速所在温度/℃	最大冷速/（℃/s）	特性温度/℃
快速淬火油	40	608	100	700
	60	610	103	702
	80	609	102	700
快速等温（分级）淬火油（1 号）	80	613	90	705
	100	623	92	705
	120	609	89	705
	140	608	88	702
	160	610	88	700
等温（分级）淬火油（2 号）	100	656	78	710
	120	664	81	710
	140	658	80	710
快速真空淬火油（1 号）	40	590	94	700
	60	595	96	700
	80	592	95	700
真空淬火油（2 号）	40	554	76	660
	60	560	79	660
	80	562	78	660

A.3　盐浴、碱浴

盐浴、碱浴的配方及使用温度见表 A.6。

表 A.6　盐浴、碱浴的配方及使用温度

热浴	成分配方（质量分数,%）	熔点/℃	工作温度/℃
盐　浴	$45NaNO_3+55KNO_3$	218	230～550
	$50NaNO_3+50KNO_3$	218	230～550
	$75NaNO_3+25KNO_3$	240	280～550
	$55NaNO_3+45KNO_2$	220	230～550
	$55KNO_3+45KNO_2$	218	230～550
	$50KNO_3+50NaNO_2$	140	150～550
	$55KNO_3+45NaNO_3$	137	150～550
	$46NaNO_3+27NaNO_2+27KNO_3$	120	140～260
	$75CaCl_2+25NaCl$	500	540～580
	$30KCl+20NaCl+50BaCl_2$	560	580～800
碱　浴	$65KOH+35NaOH$	155	170～300
	$80KOH+20NaOH+10H_2O$	130	150～300
	$80NaOH+20NaNO_2$	250	280～550

第七节　聚合物水溶性淬火介质测定方法

一、概论

近年来，随着热处理技术和工艺的发展，水溶性淬火介质的应用也越来越多。目前，国内外应用最广泛的水溶性淬火介质有 PAG 类、PVA 类、PEO 类、PVP 类水溶性淬火介质。原来的 JB/T 4392—1999《有机物水溶性淬火介质性能测定方法》已不能全面反映当前淬火介质产品性能测定的需要。

为了更加准确地表述及管理水溶性淬火介质在热处理行业的应用，对 JB/T 4392—1999《有机物水溶性淬火介质性能测定方法》进行了修订，以“聚合物水溶性淬火介质”代替了“有机物水溶性淬火介质”，形成 JB/T 4392—2011《聚合物水溶性淬火介质性能测定方法》。

本标准删减了 JB/T 4392—1999 中的电导率测定法。电导率测定法和折光率测定法相同，也是为了测定淬火介质的浓度。需要在每一种介质使用之前先测出其在一定温度下不同浓度与电导率的变化关系曲线，然后在使用过程中进行对比，找到对应浓度值。该种方法针对性强，通用性低，且当淬火介质浓度低（质量分数为 0.1% ~0.5%）时，电导率变化范围小，精确度低。

本标准修改了黏度、酸碱度、冷却曲线测定方法。在 JB/T 4392—1999 中，黏度的测定分别采用了 GB/T 1723—1979 第 29 组中的涂-1 黏度计法和滚动落球黏度计测量法。前者适于测定有机物水溶性淬火介质的浓缩液或黏度较高的液体，因此测量范围局限性较大。后者测量值为绝对黏度值，比前者测量结果精确，也适合于测定黏度较高的溶液，但所需设备较复杂，操作温度要求严格，适用于有条件的企业和研究部门使用。综合来看，以上两种方法局限性都很大，均不利于聚合物水溶性淬火介质，尤其是浓度较低的淬火介质黏度的准确测定。因此，本标准采用了被国际行业广泛认可的运动黏度测定法。

在 JB/T 4392—1999 中，酸碱度（pH 值）测定方法采用精密石蕊试纸测定。这种方法简单易行，但误差较大，易受操作人员主观影响。因此，本标准参照 GB/T 9724 的规定，采用酸度计进行测量，精确度大大提高。

在 JB/T 4392—1999 中，主要考虑采用 ϕ20mm 银球探头、ϕ0.3mm NiCr-NiSi 热电偶进行冷却曲线的测定。银探头虽然灵敏性好，但是最大的缺点是探头的表面状态难以保证，测试的重复性、再现性差。本标准中参考了 JB/T 7951—2004，推荐采用镍基合金探头进行聚合物水溶性淬火介质冷却性能的测定。Inconel600 属于高温合金，热导率与钢较为接近，同时其抗氧化性能比银好，探头表面状态更为稳定，测试的重复性、再现性较好。目前我国并行两个标准 JB/T 7951—2004（等同于 ISO 9950）和 SH/T 0220—1992，其中 JB/T 7951—2004 应用最为广泛。我国淬火介质生产企业绝大部分采用 ISO 9950 标准进行冷却特性测试，而且部分热处理生产单位也配备了冷却特性测试仪，这对镍合金探头标准的推广具有很大的推动作用。

本标准增加了凝点、浊点、防锈试验测定法及检验报告。凝点、浊点属于聚合物水溶性淬火介质原液物理性能的指标，生产厂家可根据使用需要进行测定。

热处理时，金属产品在聚合物水溶性淬火介质中淬火，会发生氧化腐蚀，给产品本身及后期处理造成不良影响，因此，聚合物水溶性淬火介质的防锈性测定也很重要。本标准参照 JB/T 9189《水基材料防锈试验方法　铸铁粉末法》对聚合物水溶性淬火介质的防锈性试验进行了说明。

总之，本标准中规定了聚合物水溶性淬火介质的外观、固体含量、密度、运动黏度、折光率、凝点、浊点、酸碱度、稀释液冷却曲线和防锈实验等测定方法以及检测报告。在应用本标准进行聚

合物水溶性淬火介质的测试时，要考虑相关标准的发布、新技术的应用，并予以借鉴、参考或直接应用。

二、标准应用说明

1. 外观测定法

为了便于操作，采用目测的方法判断聚合物水溶性淬火介质的外观质量。在室温（20～35℃）下，将待测液体先放入烧杯（1000mL），再将烧杯中的液体缓缓倒入干燥洁净的量筒内，液面至500mL 刻度线。将量筒有刻度标识的一面朝向后面，保持没有刻度的一面朝前，在自然光下观察被测液体的颜色、透明程度、纯净程度，溶液溶解是否均匀等，不得有混浊和悬浮物等混杂物存在。若观察到发黑变质或有异味存在时，应予以报废。最后，记录下当时的测定温度和观察到的结果。

2. 固体含量测定法

本方法是通过测量试样加热前后质量的变化来测定固体物质的含量，并以百分数来表示。这主要是为了测定淬火介质中杂质的含量，借以评定淬火介质的污染程度。

本标准中，分析天平感量为0.0001g，即0.1mg。固体含量的测定温度为（105±5）℃，在烘箱中保温时间延长至3h。为了保证固体物质质量的精度，本标准特规定，将试样加热3h 后先冷至室温，再放入烘箱在（105±5）℃下加热30min 后取出，若前后两次加热后所得质量差不得超过0.5mg 为合格，否则继续保温，直至合格。

最后将得到固体物质的质量除以介质总质量，即测定结果。试验结果以两个平行试样测定值的算术平均值表示，结果保留3 位有效数字。

实际检测时，应取两个试样进行测定，两个试样的结果相对误差应不大于0.5%，否则，重新进行测定。

3. 密度测定法

该方法属于测量介质密度的方法，按照标准 GB/T 1884 的规定，选用适当量程的密度计测定20℃下试样的密度。

该方法仪器简单、操作方便，但测量范围和精度有一定局限性。测量时将密度计放入被测样品中，可直接由密度计的刻度与液体凹面的相交处读出数值。操作时应将样品缓缓注入容器中，避免出现气泡。插入密度计后，应在静止、无气泡的情况下测定。由于被测液体对容器内壁和密度计表面有吸附作用，液面不是平面，因此读数时，以液面凹处最低点所对应的密度计读数为准。

由于聚合物水溶液的浓度不同，所对应密度也不同，因此，可在一定温度下，测定某一介质不同浓度时的密度值，绘出对应关系曲线。由此，根据密度推断浓度。

4. 运动黏度测定法

按照 GB/T 265 的规定，当被测液体在直立的毛细管中以完全湿润管壁的状态流动时，其运动黏度与流动时间成正比，用已知运动黏度的液体（常用20℃时的蒸馏水作为标准液体）作为标准，测量其从毛细管中流出的时间，再测量被测液体的流出时间，即可计算出被测液体的黏度。

测量时，将黏度计调整成为垂直状态，将恒温浴调整至40℃，将装好淬火介质的黏度计浸在恒温浴内，保持15min。放好后，利用毛细管黏度计管身小口套好的橡胶管将淬火介质吸入扩张部分，使淬火介质液面稍高于上标线。当淬火介质刚好到达上标线时，同步用秒表计时，直到淬火介质刚好流至下标线时，停止计时。运动黏度为所用的时间和标定黏度计常数的乘积。为了保证精确度，规定至少测量三次，取均值。

该种方法操作简单，适用于任何浓度的水溶性淬火介质黏度的检测，精确度较高。

5. 折光率测定法

折光率是聚合物常见参数之一，可用以估计淬火介质的浓度，也可有效反应溶液的纯度。

本标准采用阿贝折光仪，测定原理是当光线从一种透明介质（空气）进入另一种透明介质时，由于光线在不同介质中的传播速度不同，光线传播方向发生改变。折光率是指光线在空气（真空）中传播的速度与在其他介质中传播速度之比。由于光线在空气中传播速度最快，因而任何介质的折光率均大于1。它的变化随测量时的温度及入射光波长的不同而有所变化。就聚合物水溶性淬火介质来讲，在某一温度下，不同浓度的水溶液有不同的折光率。因此，折光率的变化可在一定程度上反映水溶液的浓度。

本标准采用阿贝折光仪精密度为±0.0002，测量时要求进行水浴恒温及使用循环泵，以保证(20±0.1)℃的循环水。测量时，先用棱镜或二级水校正折光仪，20℃是二级水的折光率为1.3330。每次检测试样时都应清洗棱镜表面，按照阿贝折光仪操作方法进行测定折光读数。折光读数需估读至小数点后第四位。为了保证精确度，需重复观察及记录读数三次，各读数之差不应大于0.0005，最后三次读数的平均值即试样的折光率。

该方法操作简单，仪器常见，对设备和人员的技能要求小，且测定结果比较准确。

6. 凝点测定法

本标准中凝点测定法应符合 GB/T 510 的规定。测定原理为：将一定量的试样装在规定的容器中，冷却到规定的温度，将容器倾斜45℃，经过1min，观察液面是否移动，以液面正好不移动的温度为凝点。

为了保证凝点测定的准确性，本标准中规定采用圆底试管盛装试样，该试管高度为（160±10）mm，内径为（20±1）mm，并在距管底30mm的外壁处标示环形标线。其他需配备的设备有圆底玻璃套管、水银温度计（0℃~100℃），以及装冷却剂用的广口保温瓶或筒形容器。同时，为了有足够的冷却剂保证试样的冷却效果，要求装冷却剂的容器高度不低于160mm，内径不小于120mm。同时采用循环测定法，在小范围内对测定温度进行微调。

试验时，先将装有试样的试管保持在（50±1)℃至恒温，后将试管放入套管中冷却至（35±5)℃，然后整套仪器放入冷却剂中进行冷却。当试样温度冷至预期凝点时，将浸在冷却剂中的仪器倾斜至45°，保持1min，此后取出仪器，恢复垂直，观察液面有无移动现象。

若液面有移动痕迹，须将试样重新预热至（50±1)℃，然后使用比上次实验温度低4℃或者更低的温度进行测定，直至液面位置停止移动为止。

若液面不发生移动，将试样重新预热至（50±1)℃，用比上次试验温度高4℃或者更高的温度进行测定，直至液面发生移动。

依照以上方法进行测定，即可确定凝点的温度范围（即液面从移动到不移动或者从不移动到移动的温度范围)，再采用比发生移动的温度低2℃或比不移动的温度高2℃的温度，重新进行试验。直至确定某试验温度能使液面停留不动而提高2℃就能使液面发生移动时，选取使液面不发生移动的温度，即试样的凝点。

该方法结果准确，操作简单，适用于实验室检测。

7. 浊点测定法

本标准对浊点的测定方法符合 GB/T 5559 中方法 A 的规定。检测原理为聚合物水溶性淬火介质加热到一定温度时会发生脱溶现象，即溶液发生混浊，冷却时，脱溶出来的聚合物会回溶到溶液中，当溶液混浊消失时的温度就定义为试样的浊点。

试验时，先配制试样溶液：称取试样1g，加入100mL蒸馏水，摇匀。取15mL试样溶液倒入试管中，插入温度计，加热试管，并轻轻搅拌直至溶液完全呈混浊状（溶液的温度不应超过混浊温

度 10℃)，停止加热。继续用温度计轻轻搅拌溶液，使其慢慢冷却，记录混浊消失时的温度。为了保证测定结果的准确性，可平行测定 2 次，两次测定结果之差不大于 0.5℃。

8. 酸碱度（pH 计法）

本标准中酸碱度的测定符合 GB/T 9724 的规定。规定在（25 ±1)℃的温度下测定试样的 pH 值。同时，保证 pH 计的温度补偿也为 25℃，测定试样的 pH 值，精确度为 0.1。

测量时，为了尽量降低误差，可多次取样进行检测，直至 pH 值至少稳定 1min 为止，最后记下 pH 的读数，即为结果。

9. 稀释液冷却曲线测定法

本标准中对聚合物稀释液冷却曲线的测量参照了 GB/T 7951 的规定。检测原理为用探头淬火模拟工件淬火的过程，探头内装有可同步反映温度变化的热电偶。检测时，将装有内置热电偶的探头预先在炉子中加热到相应起始温度后，浸入到待测淬火介质中进行测试，通过连接的记录装置可记录温度—时间变化过程。

这种测量方法所用到的冷却特性测试仪、试样容器、检测温度装置等均应符合 GB/T 7951 的规定。

检测时，先将 1000mL 试样盛放进干燥、清洁的内径为（115 ±5） mm 的高筒容器内，加热并保持恒温在指定检测温度（建议为 30℃)。待探头加热至规定温度（一般为 850℃ ±15℃）时并保温 5min。检测时，将探头迅速拔出并插入试样中，保证探头在容器的几何中心部位静止，直至检测完毕。检测完毕，将探头从试样中取出，在空气中冷却至 50℃以下，用中性的清洗剂清洗探头并用清水冲洗，最后用清洁、干燥的棉布擦干。

检测结束后，冷却特性测试仪会对检测过程中的数据进行处理生成冷却特性曲线。用户可以从曲线中得到以下数据：试样在 600℃、400℃、300℃下的冷却速度及由 850℃冷至 600℃、400℃、200℃时的时间。在正常测定之前，探头均应经过标定、校正。使用过程中，当探头检测结果与真实值偏差超过 ±5% 或一次校正后正常检测次数超过 25 次，均应使用规定金相砂纸重新打磨探头并重新校正，得出新的校正系数。

10. 防锈试验测定法

本标准防锈试验符合 JB/T 9189 的规定。在聚合物水溶性淬火介质的实际应用过程中，常常需要淬火介质有一定的防锈功能。

试验检测原理是通过检测浸过水溶性淬火介质的铸铁粉末生锈情况，以锈迹大小作为评价聚合物水溶性淬火介质防锈效果的依据。进行试验时，需要准备玻璃干燥器、铸铁粉末、丙酮、标准筛（2 个)、锈蚀评定板、培养皿、烧杯、定性滤纸（直径 80mm）以及电吹风。标准筛的筛孔尺寸分别为 0.425mm、0.850mm。锈蚀评定板应为无色透明聚合玻璃板制成，厚度为 2mm，直径为 80mm。评定板的正中应刻有 50mm ×50mm 的正方框，框内刻有 5mm ×5mm 的正方形格子 100 个，格子刻线宽度不大于 0.1mm。定性滤纸也应提前在中部用 2H 铅笔绘制出与该尺寸相同的方框以备用。

准备好仪器后，将无锈的 HT200 干式切屑粉末用标准筛筛出 0.42 ~0.85mm 之间的铸铁粉末，取适量置于烧杯中，用丙酮浸洗两次，沥干后迅速用冷风吹干，不能用热风，否则易在空气中发生氧化。吹干后，倒入 30mL 的试验液内，15min 后将试验液除去至不再有连续液滴滴落时，就可将铸铁粉末均匀地铺放在备好的定性滤纸上，一起放入培养皿，最后将培养皿放入干燥器中，干燥器中应盛有高度为 50mm 的蒸馏水，保证温度为 25 ~35℃，相对湿度不低于 90%。放入铸铁粉末后，在干燥器的磨砂瓶口处涂以薄层凡士林密封。

4h 后，取出培养皿，迅速用流动自来水冲掉滤纸上的铸铁粉末，并用热风将滤纸吹干。将锈蚀评定板与吹干的滤纸重叠起来，使两者正方形框对正，以锈蚀评定板上 100 个方格为有效面积，

方格中有锈迹的作为锈迹格子，统计有效面积内有锈蚀格子数，计算锈蚀面积的百分率。在锈蚀评定板的分割线上或交叉点上的锈迹，其直径等于或大于1mm，所跨越的格子都作为锈蚀格子。小于1mm，则以一个格子有锈计算。

为了尽量降低误差，每种试样应同时做三组平行试验。三组平行试验结果级别相同时，按照同级定级；若三组平行试验结果级别相差1级，并有两个试验结果同级时，按照同级结果定级；若三组平行试验结果级别均不同者不同定级，需重新试验。

11. 检测报告

检测报告是生产现场及时掌握淬火介质变化、分析淬火介质性能的重要依据。本标准规定，检测报告应包括试样的名称及数量、试验内容及结果、参考的标准编号、按照GB/T 8170进行修约后的检测结果、检验日期及检验者的签名/盖章，并对检测结果进行总结分析或者合理建议。（南京科润工业介质有限公司聂晓霖供稿）

三、标准内容（JB/T 4392—2011）

聚合物水溶性淬火介质测定方法

1 范围

本标准规定了聚合物水溶性淬火介质的外观、固体含量、密度、运动黏度、折光率、凝点、浊点、酸碱度、稀释液冷却曲线和防锈试验等测定方法。

本标准适用于聚合物水溶性淬火介质性能的测定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 265 石油产品运动黏度测定法和动力黏度计算法

GB/T 510 石油产品凝点测定法

GB/T 614 化学试剂 折光率测定通用方法

GB/T 1884 原油和液态石油产品密度实验室内测定法（密度计法）（GB/T 1884—2000，eqv ISO 3675：1998）

GB/T 5559—1993 环氧乙烷型及环氧乙烷-环氧丙烷嵌段聚合型非离子表面活性剂 浊点的测定（eqv ISO 1065：1991）

GB/T 8170 数值修约与极限数值的表示和判定

GB/T 9724 化学试剂 pH值测定通则

JB/T 7951 测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头实验方法

JB/T 9189 水基材料防锈试验方法 铸铁粉末法

3 外观测定方法

3.1 测定要求

在室温（20～35℃）条件下对试样的外观质量情况进行目测。

3.2 仪器设备

仪器设备包括：

——玻璃量筒：500mL；

——水银温度计：0～100℃，分度值为1℃；

——玻璃烧杯：1000mL。

3.3　测定步骤

3.3.1　将烧杯中盛放的试样缓慢倒入干燥洁净的量筒内，液面至500mL刻度线。

3.3.2　将量筒有刻度的一面朝向后面（无刻度的一面朝前），在自然光下目测。透过试样观看量筒刻度线，能看到则为透明或半透明，并观察试样纯净情况，不得有混浊和悬浮物等混杂物质存在。

3.3.3　记录下当时的测定温度及根据3.3.2规定所观察的结果。

4　固体含量测定方法

4.1　测定要求

将试样放在烘箱内，在规定常压条件下加热至恒重。通过加热前后试样的质量变化来测定固体含量，以百分数表示。

4.2　仪器设备

仪器设备包括：

——分析天平：感量为0.0001g（即为0.1mg）；

——称量瓶：直径40mm、高25mm；或近似本规格的称量瓶；

——电热恒温鼓风烘箱：可在（105±5）℃下控温。

4.3　测定步骤

4.3.1　先将洁净的称量瓶在（105±5）℃的烘箱内加热30min，取出放入玻璃干燥器中冷却至室温后称重，然后再放入烘箱在（105±5）℃下加热15min后取出，在干燥器中冷却至室温再称量，记为W。重复此操作，直至前后两次称量之差小于0.5mg。

4.3.2　称取1～3g试样于已烘至恒重的称量瓶中，使试样均匀地流遍容器的底部，盖严瓶盖，再放在天平上称重，记为W_1。

4.3.3　打开瓶盖，将称量瓶放入烘箱使其水平放置，在（105±5）℃保持3h，将瓶取出盖严瓶盖，放入玻璃干燥器内，冷却至室温后称重，然后再放入烘箱在（105±5）℃下加热30min后取出，在干燥器中冷却至室温再称量，记为W_2。重复此操作，直至前后两次称量之差小于0.5mg。

4.3.4　计算方法：

固体含量X（质量分数,%）按式（1）计算：

$$X=(W_2-W)/(W_1-W)\times 100\% \tag{1}$$

式中　W——容器质量（g）；

W_1——烘干前试样和容器质量（g）；

W_2——烘干后试样和容器质量（g）。

试验结果以两个平行试样测定值的算术平均值表示，结果保留三位有效数字。两个试样的结果相对误差应不大于0.5%；否则应重新进行测试。

5　密度测定方法

5.1　测定要求

按GB/T 1884的规定，选用适当量程的密度计测定20℃下试样的密度。

5.2　仪器设备

仪器设备包括：

——精密密度计：分度值为0.001g/cm；

——水银温度计：0～100℃，分度值为1℃；

——玻璃量筒：1000mL；

——恒温水浴：控制温度计分度值为1℃。

5.3 测定步骤

5.3.1 将试样温度调整至20℃后，沿玻璃棒注入干燥洁净的玻璃量筒中约1000mL。握住干燥洁净的密度计的上端缓慢地放入无气泡的试样中。

5.3.2 使量筒内液面保持水平状态，密度计不应接触量筒内壁。

5.3.3 待密度计静止后，按液面凹处最低点与密度计接触处读数（读数时视线与液面最低点必须成同一水平），精确读至0.001g/cm^3。

5.3.4 记录测试时的液温及密度计读数。

6 运动黏度测定法

6.1 测定要求

按GB/T 265的规定，在40℃浴温下测定试样的运动黏度。

6.2 仪器设备

仪器设备包括：

——恒温浴：带有透明壁或装有观察孔，高度不少于180mm，容积不少于2L，并且附设自动搅拌装置和一种能够准确地调节温度的电热装置；

——水银温度计：0~50℃，分度值为0.1℃；

——毛细管黏度计一组，毛细管内径为0.4mm、0.6mm、0.8mm、1.0mm、1.2mm、1.5mm、2.0mm、2.5mm、3.0mm、3.5mm、4.0mm、5.0mm和6.0mm。

6.3 测定步骤

6.3.1 将黏度计调整成为垂直状态，将恒温浴调整到40℃，把装好试样的黏度计浸在恒温浴内，保持15min。

6.3.2 利用毛细管黏度计管身小口所套着的橡胶管将试样吸入扩张部分，使试样液面稍高于上标线。

6.3.3 观察试样在管身中的流动情况，液面正好到达上标线时，秒表开始计时，液面正好流到下标线时，秒表停止计时。

6.3.4 用秒表记录的流动时间，应重复测定至少四次，其中各次流动时间与其算术平均值的差数不应超过平均值的±0.5%。

6.4 计算

试样40℃的运动黏度ν按式（2）计算：

$$\nu = c\tau \qquad (2)$$

式中 c——黏度计常数，单位为二次方毫米每二次方秒（mm^2/s^2）；

τ——试样的平均流动时间，单位为秒（s）。

7 折光率测定方法

7.1 测定要求

测定方法应符合GB/T 614的规定。根据光线在不同介质中的传播速度不同，所造成的折光率也不同，通过对聚合物水溶性淬火介质折光率的测定，可测得试样的浓度范围。

7.2 仪器设备

仪器设备包括：

——阿贝折光仪：精密度为±0.0002；

——恒温水浴及循环泵：可向棱镜提供温度为（20±0.1）℃的循环水。

7.3　测定步骤

7.3.1　将恒温水浴与棱镜连接，调节恒温水浴温度，使棱镜温度保持在（20±0.1)℃。

7.3.2　用二级水或标准玻璃块校正折光仪。校正方法及标准玻璃块的折光率由仪器说明书给出。20℃时二级水的折光率为1.3330。

7.3.3　每次测定前都应清洗棱镜表面。如无特殊说明可用适当的易挥发性溶剂清洗棱镜表面，再用镜头纸或医药棉将溶剂吸干。

7.3.4　用滴管向棱镜表面滴加数滴20℃左右的试样，立即闭合棱镜并旋紧，应使试样均匀、无气泡并充满视场，待棱镜温度计读数恢复到（20±0.1)℃。

7.3.5　调节反光镜使视场明亮。调节棱镜组旋钮，使视场出现明暗界线，调节补偿棱镜旋钮，使界线处所呈彩色完全消失，再调节棱镜组旋钮，使明暗界线与叉丝中心重合。

7.3.6　读出折光率，估读至小数点后第四位。

7.3.7　重复观察及记录读数三次。各读数之差不应大于0.0005，所得读数的平均值即为试样的折光率。

8　凝点测定方法

8.1　测定要求

测定方法应符合GB/T 510的规定。将试样装在规定的试管中，并冷却到预期的温度时，将试管倾斜45°，经过1min，观察液面是否移动。

8.2　仪器设备

仪器设备包括：

——圆底试管：高度为（160±10）mm，内径为（20±1）mm，在距管底30mm的外壁处有一环形标线；

——圆底玻璃套管：高度为（130±10）mm，内径为（40±2）mm；

——水银温度计：0~100℃，分度值为1℃；

——装冷却剂用的广口保温瓶或筒形容器：高度不小于160mm，内径不小于120mm。

8.3　试验步骤

8.3.1　在干燥洁净的试管中注入试样，使液面升到环形标线处。用中心带孔的软木塞将温度计固定在试管中央，使水银球距管底8~10mm。

8.3.2　装有试样和温度计的试管，垂直地浸在（50±1)℃的水浴中，直至试样的温度达到（50±1)℃为止。

8.3.3　从水浴中取出装有试样和温度计的试管，擦干外壁，用软木塞将试管牢固地装在套管中，要求试管与套管的中心线保持重合，以使试管外壁与套管内壁之间的距离相等。装好的仪器垂直地固定在支架的夹子上，并放在室温中静置，直至冷却至（35±5)℃为止。然后，将这套仪器浸在装好冷却剂的容器中。

8.3.4　当试样温度冷却至预期的凝点时，将浸在冷却剂中的仪器倾斜成为45°，并将这样的倾斜状态保持1min。此后取出仪器，垂直放置以观察液面是否发生过移动的现象。

8.3.5　当液面位置发生移动时，将试样重新预热至（50±1)℃，然后用比上次试验温度低4℃或者更低的温度重新进行测定。直至某试验温度能使液面位置停止移动为止。

8.3.6　当液面位置不发生移动时，将试样重新预热至（50±1)℃，然后用比上次试验温度高4℃或者更高的温度重新进行测定。直至某试验温度能使液面位置发生移动为止。

8.3.7　找出凝点的温度范围（液面位置从移动到不移动或从不移动到移动的温度范围）之后，采用比发生移动的温度低2℃或比不发生移动的温度高2℃的温度，重新进行试验。直至确定某试验

温度能使试样的液面停留不动而提高2℃并能使液面发生移动时，选取使液面不发生移动的温度，作为试样的凝点。

9 浊点测定方法

9.1 测定要求

测定方法应符合GB/T 5559—1993中方法A的规定，将试样加热至混浊后缓慢冷却，混浊消失时的温度为试样的浊点。

9.2 仪器设备

仪器设备包括：

——具有加热功能的磁搅拌器一台；

——试管：20mL；

——水银温度计：分度值为0.1℃，具有适用于试样被测温度的范围；

——碘量瓶：250mL；

——烧杯：1000mL，装有透明导热体（例如乙二醇）。

9.3 分析步骤

9.3.1 称取试样1g，精确至0.1g。

9.3.2 将试样放入碘量瓶中，加入100mL蒸馏水，摇匀，使试样完全溶解。

9.3.3 将15mL试样溶液倒入试管中，插入温度计，然后将试管移入烧杯中加热，用温度计轻轻搅拌直至溶液完全呈混浊状（溶液的温度应不超过混浊温度10℃），停止加热。试管仍保留在烧杯中，用温度计轻轻搅拌溶液，使其慢慢冷却，记录混浊消失时的温度。

9.3.4 平行测定两次，平行测定结果之差不大于0.5℃。

10 酸碱度测定方法（pH计法）

10.1 测定要求

pH值的测定方法应符合GB/T 9724的规定。

10.2 仪器设备

仪器设备包括：

——酸度计：分度值为0.1；

——标准缓冲溶液；

——烧杯：100mL。

10.3 分析步骤

10.3.1 将试样用蒸馏水配制成5%的溶液，溶液温度为（25±1）℃。

10.3.2 用与试样pH值接近的两种标准缓冲溶液校正酸度计。

10.3.3 将pH计温度补偿旋钮调至25℃，测定试液的pH值，精确到0.1。

10.3.4 为了测定准确的结果，可重复测量，直至pH值至少稳定1min为止。

10.3.5 记录下pH计的读数。

11 聚合物水溶性淬火介质稀释液冷却曲线测定方法

11.1 测定要求

聚合物水溶性淬火介质稀释液冷却曲线的测定方法应符合GB/T 7951的规定。将一个几何中心装有热电偶的圆柱形镍合金探头在炉中加热到设定温度，然后放入一定体积的待测试样中，记录探头心部温度变化与时间的函数关系。冷却速度也可以同时记录，或以后确定。从记录中得到的测量值可用于评价待测试样。

11.2 仪器设备

仪器设备包括：

——冷却性能测试仪：应符合 JB/T 7951 的规定，包括探头、加热设备和测量系统；

——水银温度计：0～100℃，分度值为 1℃；

——容器：试样应装在清洁和干燥的内径为（115±5）mm 的高筒容器内，容器由不易破碎的材料制成。

11.3　分析步骤

11.3.1　测试温度

标准的探头温度应为 850℃。在炉中将探头加热至（855±5）℃，且测试开始前，探头应在此温度下保持 5min。

11.3.2　试样的浓度

将试样用蒸馏水按适当的浓度配制成 2L，试样的浓度可以选择，以满足个别要求。

11.3.3　试样的温度和搅拌速度

试样应在指定产品使用的温度范围内测试。

试样的温度和搅拌速度可以选择，以满足个别要求。为便于比较，除非特别强调，推荐试验在液温 30℃且试样静止的条件下进行。

试样在加热期间适当搅拌，且在测试前检查试样温度。试验开始时，液温应在设定试验温度±2℃之内。

11.3.4　测试

断开加热炉电源，探头从炉中移动到淬火液中，探头从炉内移到容器中的时间应不超过 2s，最好采用自动机构。探头应放置在淬火液试样容积的几何中心，并且应使用机械支撑，以防止探头的振动和搅动。

同时开启事件触发器记录探头从 850℃开始冷却 1min 时间过程中的时间-温度数据。

测试完毕，将探头从淬火液中移出，待冷却至室温用清水（或中性清洗剂）冲洗，冲洗干净后，用棉布擦净。

11.3.5　结果表示

11.3.5.1　根据绘制的温度与时间的函数关系，读出探头从浸入温度降到下列温度所用时间：

——600℃（精确到 0.5s）；

——400℃（精确到 0.5s）；

——200℃（精确到 1s）。

11.3.5.2　根据绘制的冷却速度与温度的函数关系，读出如下数据：

——最大冷却速度（精确到 0.5℃/s）；

——发生最大冷却速度时所在温度（精确到 0.5℃）；

——在 300℃时的冷却速度（精确到 0.5℃/s）。

12　防锈试验方法

12.1　测试要求

测定方法应符合 JB/T 9189 的规定。将浸过水溶性淬火介质的铸铁粉末铺在滤纸上，利用铸铁粉末表面积大和处于高湿度下易于锈蚀的状况，在滤纸上留下的不同程度的锈迹来评价聚合物水溶性淬火介质稀释液的防锈效果。

12.2　仪器设备

仪器设备包括：

——玻璃干燥器：直径 300mm（以下简称干燥器）；

——标准筛的筛孔尺寸：0.425mm、0.850mm；

——锈蚀评定板：用厚度 2mm、直径 80mm 无色透明聚合玻璃板制成，正中有 50mm × 50mm 正方框，框内刻有 5mm × 5mm 正方形格子 100 个，格子刻线宽度不大于 0.1mm；

——HT200 灰铸铁干式切屑粉末；

——培养皿：直径 90mm；

——电吹风机：具有冷、热风吹出功能。

12.3　试验步骤

12.3.1　在干燥器内盛有高度为 50mm 蒸馏水，磨砂瓶口处涂以薄层凡士林使干燥器密闭。

12.3.2　将无锈 HT200 灰铸铁干式切屑粉末用筛孔尺寸为 0.425mm 和 0.850mm 的标准筛筛取直径在 0.42 ~ 0.85mm 之间的铸铁粉末。

12.3.3　取 8g 铸铁粉末置于 100mL 烧杯中，用丙酮浸洗两次，沥干后迅速用冷风吹干，然后加入 30mL 试验液，15min 后把试液弃去至不再有连续液滴滴落时，即将铸铁粉末均匀地铺放在放有一张直径 80mm 中部用 2H 铅笔划有一个 50mm × 50mm 方框定性滤纸的培养皿上，一起放入干燥器中，在 25 ~ 35℃、相对湿度不低于 90% 的条件下保持 4h 后取出，迅速用流动自来水冲洗掉滤纸上的铸铁粉末，用热风将滤纸吹干待定级。

12.3.4　每种试验液应同时做三组平行试验。

12.4　试验结果定级

12.4.1　根据滤纸上锈迹及颜色判断水基材料的防锈能力。锈蚀结果评级见表 1。

表 1　锈蚀结果评级

级别	锈蚀程度	观察结果
0	无锈蚀	无锈蚀
1	微量锈蚀	不超过 3 个锈点，锈点直径不超过 1mm
2	轻度锈蚀	锈蚀面积 4% ~10%，锈迹色浅
3	中等锈蚀	锈蚀面积 11% ~25%，锈迹色较深
4	严重锈蚀	锈蚀面积 >25%，锈迹色较深

12.4.2　把锈蚀评定板与待定级的滤纸重叠起来，并使两者的正方形框对正，以锈蚀评定板上 100 个方格为有效面积，方格中有锈迹的作为锈蚀格子，统计有效面积内有锈蚀格子数，计算锈蚀面积百分率。在锈蚀评定板的分割线上或交叉点上的锈迹，其直径等于或大于 1mm，所跨越的格子都作为锈蚀格子，小于 1mm，则以一个格子有锈计算。三组平行试验结果级别相同时，按同级定级。

12.4.3　三组平行试验结果级别相差 1 级，并有两个试验结果同级时，按同级结果定级。

12.4.4　三组平行试验结果中，级别均不同者不能定级，需重新试验。

13　检验报告

检验报告应包括如下内容：

——试样的名称及数量；

——抽检时应说明抽样率与取样方式或抽样方案；

——参考的标准代号；

——按 GB/T 8170 进行修约后的检验结果；

——检验日期及检验者的签名或盖章；

——结论。

第八节　聚乙烯醇合成淬火剂

一、概论

随着石油、化学工业的发展，有机物或高分子有机物越来越多地应用在淬火介质上，减少了变形和开裂的倾向，适当调整溶液的浓度和温度，可配制成符合多种要求冷却能力的水溶液。这些水溶液具有无毒、无臭、无烟、不燃、使用安全等特点，应用也日趋广泛。目前国内外研制的有机聚合物淬火剂种类很多，包括聚乙烯醇（PVA）、聚乙烯吡咯烷酮（PVP）、聚烷撑二醇（PAG）等。不同种类的有机聚合物淬火剂有显著不同的冷却特性和稳定性，能适合不同淬火工艺的需要。

聚乙烯合成淬火剂（PVA）的冷却能力在水油之间，在热处理生产上应用最早，早在20世纪50年代初期就应用它来降低冷却速度。聚乙烯醇合成淬火剂加水稀释成不同浓度，可适用于碳素结构钢、工具钢、合金结构钢、轴承钢及铜合金等多种金属材料。例如，用于铍青铜复杂外形薄壁零件热处理，可以显著减小变形量；用于40Cr钢制中小型连杆铸件热处理中，可以获得优良的综合性能。

二、标准应用说明

本标准是在结合我国实际情况和现有技术水平的基础上，参考了国内外有关标准制定的。本标准内容中，主要规定了聚乙烯醇合成淬火剂（商品为浓缩液）的技术条件，使有关生产企业生产该商品时按此技术条件进行，以保证产品的质量。其次由于该合成淬火剂为浓缩液不能直接用于淬火，需要加水稀释成不同浓度的稀释液才能使用，为此考虑到用户的使用要求，在本标准中还编制了聚乙醇合成淬火剂稀释液的使用说明（见附录A），供用户参照。

本标准代替JB/T 4393—1999《聚乙烯醇合成淬火剂》，与JB/T 4393—1999相比，主要变化如下：增加了“术语和定义”“检验规则”和“使用、更换及排放要求”；对附录A中的内容进行了调整和修改。

本标准内容不适用于聚醚、乙二醇和各种纤维素等有机物水溶性淬火介质。

1. 合成淬火剂的组成配方和含量

在编制本标准的过程中，对配方成分的规定，除进行了必要的试验验证工作外，还进行了统计调查工作，经研究决定仍以1973年北京机电研究所研制成功的配方（见标准中表1）为基础，将含量范围略加调整，鉴于多年使用情况表明，其质量还是能够在一定范围内控制稳定的，故不须再进行成分的筛选和做较大的变动。

确定聚乙烯醇的含量时，首先应确定采用哪种牌号的聚乙烯醇，因聚乙烯醇有许多种牌号，如果任意采用，容易给配方工作和使用方面造成混乱，以致造成质量问题等。原研制过程中，试验过多种牌号，最后选用牌号为17-88聚乙烯醇配制，因其水溶性比较好，配制方便，因此标准中明确规定17-88聚乙烯醇为合成淬火剂的主要原料。

合成淬火剂中聚乙醇的含量范围，根据历年来的生产，着重对1983年、1984年两年的产品出厂检验结果进行统计，其聚乙烯醇含量基本在10.5%～11.5%（质量分数）范围内。考虑到成分含量与技术指标密切相关（特别是黏度值），含量的确定主要应由技术指标来控制，因此对聚乙烯醇的含量，只规定大于和等于10%（质量分数），实际上在黏度指标的规定中考虑了含量的问题，是以含量约为10%～12%（质量分数）来确定的。

其他添加剂成分含量也以不影响技术指标和介质的性能为基点。如防锈剂、防腐剂和消泡剂等

的含量，虽也规定用大于和等于的质量分数，但其含量均很小，而实际上以不增加一倍为限度。

2. 技术指标的确定

技术指标的项目内容是参照国外有关水溶性淬火介质资料及日本热处理油标准而确定的，其各项指标的数据是根据我国生产统计资料及多次取样进行试验的结果而确定的。

技术指标包括：外观、固体含量、密度、运动黏度、折光率、凝点及 pH 值。

上述技术指标均为合成淬火剂浓缩液出厂时和使用单位购入时的检验指标。而实际应用时均需用水稀释成不同浓度的稀释液（或称水溶液），如在有测试设备的条件下，应附有不同浓度水溶液的冷却曲线，以供用户参考。

3. 试验方法

主要根据技术指标中规定的测试项目，参照相应标准资料，经适当选择，有的直接采用，有的进行必要的更改后予以采用，详见 JB/T 4392—2011《聚合物水溶性淬火介质测定方法》。

4. 检验规则

本标准规定的所有项目为出厂检验项目，产品按批交付，一次交付的同一规格、同一批号的产品为一交付批，每批产品不超过 10t。

按 GB/T 6680《液体化工产品采样通则》的规定采样。聚乙烯醇合成淬火剂应由生产厂的质量监督检验部门按照本标准规定进行检验，生产厂应保证所有出厂的聚乙烯醇合成淬火剂都符合本标准要求。

采用 GB/T 8170《数值修约与极限数值的表示和判定》中规定的修约值比较法，判定检验结果是否符合标准。

5. 包装及贮存

包装用 200L 铁桶或塑料桶，也可根据需方要求采用其他包装。包装上应标明产品名称、商标、执行标准号、批号、生产日期、净含量和生产商信息等。

贮存及运输时应有防晒、防热、防潮、防冻的保护措施，存放于干燥阴凉处，存放温度为室温，一般以 0℃以上温度（5～35℃）为宜，存储期以半年为限，逾期应重新检验产品各项指标是否符合本标准要求。

6. 排放要求

排放淬火液时，经处理达到 GB 8978《污水综合排放标准》方可直接排放。

7. 关于聚合物水溶性淬火介质性能的测定方法

由于聚乙烯醇合成淬火剂技术条件中的各项指标，只适用于该种产品，不适合于其他有机物水溶性淬火介质，其专用性比较强；而“聚合物水溶性淬火介质测定方法”则对其他有机物水溶性淬火介质均适用，具有较大的通用性。根据具体情况，把淬火介质的技术条件和性能测定方法分为两个标准来制定，既考虑了专用性，又考虑到其通用性，这样可做到明确清晰，合情合理。

8. 关于“使用说明”

在该项标准的编制过程中，通过调查和征求意见，各使用单位普遍要求对聚乙烯醇合成淬火剂的稀释水溶液需补充“使用说明”，以便于合理的使用和有利于标准的贯彻、实施。根据这一情况，我们针对生产现场使用当中的主要问题，如某一浓度水溶液的配制计算方法，浓度及温度控制、测量方法，防锈、防腐以及失效、更换和排放等问题，都在“使用说明”中一一做了说明，有的还进行了必要的试验工作。各使用单位比较关心和注意浓度的测量问题，因为水溶液的浓度是影响淬火介质冷却能力的主要因素，随浓度的增高，冷速减慢，浓度降低时则反之（参见 JB/T 4393—2011 标准附录 A 中图 A. 1 曲线）。淬火时由于赤热的工件不断与冷却液接触，液体中的聚乙烯醇在高温时有少量产生分解，也有少部分被工件带出，另外，溶液中的水分也不断蒸发，因此会

产生浓度的变化。为了使冷却性能稳定和保证热处理工件的质量，需将水溶液的浓度控制在一个适当的范围内，找出切实可行的试验方法。为此，在制定本标准的过程中，曾用了许多不同的试验方法，对其水溶液进行浓度的测定，这些方法如密度法、折光率法、电导率法、黏度法、分光光度计法、容量分析法和烘干称重法等。由于合成淬火剂的水溶液使用浓度很低，一般为 0.1% ~0.5%（聚乙烯醇含量，质量分数），因此要求测量精度比较高。上述方法中有的测量误差过大，有的分辨率不高，有的要求仪器设备精度高，费用昂贵等不易实现。相比之下，采用烘干称重法比较简单易行，测量结果比较精准，误差小。表 7.8-1 为合成淬火剂配制浓度和实测浓度。这种方法已为许多生产现场所采用，作为检测浓度的方法。它适用聚乙烯醇合成淬火剂稀溶液的测定，也适合于聚乙烯醇浓缩液的测定。具体试验方法参见 JB/T 4392—2011《聚合物水溶性淬火介质测定方法》标准中“固体含量测定法”。

表 7.8-1　配制浓度与实测浓度的差异（质量分数）　（%）

样品号	配制浓度	实测浓度	差值
1	0.097	0.10	+0.003
2	0.17	0.24	+0.07
3	0.298	0.33	+0.032
4	0.398	0.35	-0.048
5	0.503	0.54	+0.033
6	0.584	0.55	-0.034
7	0.700	0.64	-0.06
8	0.775	0.75	-0.025
9	0.899	0.81	-0.087
10	0.997	0.94	-0.057

在使用现场进行测定时，要在淬火介质静止状态下盛取样品，应避免液体中有油污、铁屑、杂质等，必要时在测量前将样品用滤纸过滤后，再进行烘干、称重等试验程序。

在淬火介质连续使用情况下，至少每周取样分析一次。根据测定结果，可对淬火槽内水溶液进行适当调整，以保持一定的浓度。

此外，对防锈剂、防腐剂和消泡剂的添加量对其防腐、防锈等效果的影响，均进行了试验，其添加剂含量与效果成正比，在不影响冷却性能的情况下，可适当补充添加剂。（南京科润工业介质有限公司聂晓霖供稿）

三、标准内容（JB/T 4393—2011）

聚乙烯醇合成淬火剂

1　范围

本标准规定了聚乙烯醇合成淬火剂的技术条件。

本标准适用于钢件淬火冷却用的聚合物水溶性淬火介质——以聚乙烯醇为主要成分的合成淬火剂。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标

准。

GB/T 6680 液体化工产品采样通则

GB/T 8121 热处理工艺材料术语

GB/T 8170 数值修约与极限数值的表示和判定

GB 8978 污水综合排放标准

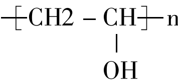
JB/T 4392—2011 聚合物水溶性淬火介质测定方法

3 术语和定义

GB/T 8121 中确立的术语和定义适用于本标准。

4 配制原料

配制合成淬火剂采用的主要原料为 17-88 聚乙烯醇（白色固体粉末）。其分子结构式为：



5 基本组成

聚乙烯醇合成淬火剂的基本组成见表 1。

表 1 聚乙烯醇合成淬火剂的基本组成

名 称	聚乙烯醇	防锈剂	防腐剂	消泡剂	水
含量（质量分数,%）	≥10	≥1	≥0.2	≥0.02	余量

注：产品供应状态为浓缩液。

6 技术要求

聚乙烯醇合成淬火剂的技术要求应符合表 2 的要求。

表 2 聚乙烯醇合成淬火剂的技术要求

项 目	技 术 要 求
外观（室温）	无色至浅黄色透明或半透明黏稠液体，无刺激性气味
固体含量（质量分数,%）	10 ~ 12
密度（20℃）/（g/cm^3）	1.015 ~ 1.035
运动黏度（40℃）/（mm^2/s）	200 ~ 500
折光率（20℃）	1.3470 ~ 1.3520
凝点/℃	≤5
pH 值	6 ~ 8

7 试验方法

按 JB/T 4392 中规定的方法测定。

8 检验规则

8.1 本标准规定的所有项目为出厂检验项目。

8.2 产品按批交付，一次交付的同一规格、同一批号的产品为一交付批。每批产品不超过 10t。

8.3 按 GB/T 6680 的规定采样。在存放过程中采样时，将一根内径为 10 ~ 14mm、两端开口的洁净的玻璃管缓慢地插入容器中部，然后将玻璃管上端堵住，将管内液体移至一清洁的样品瓶内。取样总量不少于 2000mL。充分混匀后，分装于两个有盖的玻璃瓶中，一瓶用于检验，一瓶保存三个月备查。

8.4 聚乙烯醇合成淬火剂应由生产厂的质量监督检验部门按照本标准的规定进行检验，生产厂应保证所有出厂的聚乙烯醇合成淬火剂都符合本标准的要求。

8.5　使用单位有权按照本标准的规定对所收到的聚乙烯醇合成淬火剂进行验收，验收应在货到之日起15天内进行。

8.6　检验项目中，如有不合格，应在同批产品中加倍抽样对不合格项目进行复验，复验结果仍有不合格，则该批产品为不合格批，并不得交付和验收。

8.7　采用GB/T 8170规定的修约值比较法，判定检验结果是否符合标准。

9　包装、标志、贮存和运输

9.1　包装、标志

9.1.1　包装用200 L铁桶或塑料桶。也可根据需方要求采用其他包装。

9.1.2　包装上应标明产品名称、商标、执行标准号、批号、生产日期、净含量和生产商信息等。

9.2　贮存及运输

贮存及运输时应有防晒、防热、防潮、防冻的保护措施，存放于干燥阴凉处，存放温度为室温，但不得超过35℃。

9.3　保存期

产品在符合本标准包装、运输和贮存要求的条件下，自生产之日起保存期为六个月。逾期应重新检验是否符合本标准要求。

10　使用、更换及排放要求

10.1　在使用过程中，应避免带入盐和碱等无机盐。对淬火液用测pH值的方法进行管理，pH值范围应控制在6.5~7.5。

10.2　在对淬火液温度、搅拌进行严格控制及配备沉淀、过滤装置，在保持淬火液清净、无腐蚀的情况下，使用寿命应不低于3个月，各热处理生产现场可根据具体生产情况进行更换。

10.3　更换新淬火液时，必须考虑旧液排放的污染问题。经处理达到GB 8978规定方可直接排放。

附　录　A

（资料性附录）

聚乙烯醇合成淬火剂使用说明

A.1　聚乙烯醇合成淬火剂的适用范围

A.1.1　聚乙烯醇合成淬火剂主要适用于钢件表面淬火的喷射冷却或浸入冷却，也可以用于气氛炉加热整体淬火冷却；一般不用于盐浴炉加热的淬火冷却（由于淬火工件带入大量无机盐，会引起聚乙烯醇的分解及凝胶现象）。

A.1.2　聚乙烯醇合成淬火剂主要适用于低中碳钢和低中合金钢零件的整体或感应淬火。具体钢种可根据其工件的几何形状、尺寸大小以及技术条件的要求等，并结合淬火剂在不同浓度和温度下的冷却性能加以综合考虑，或进行试验来确定。聚乙烯醇合成淬火剂进行淬火冷却的推荐钢种及适用范围见表A.1。

表A.1　聚乙烯醇合成淬火剂的适用范围

钢　　种	零件类别	热处理方法	淬火剂含量（质量分数,%）
15、20、35、45、40Cr、45Cr	花键轴、摇臂、螺钉上下接头、摇臂轴、齿轮、输出轴	感应淬火 渗碳后淬火 碳氮共渗后淬火	0.2~0.4
50Mn	轴承滚道、凸轮轴	火焰表面淬火	0.2~0.3

（续）

钢　　种	零件类别	热处理方法	淬火剂含量（质量分数,%）
20CrMo 40CrMnMo 5CrMo、42CrMo 40MnB、45MnB	销套 轴类 曲轴、后半轴 叉形凸缘轴	淬火 感应淬火	0.3~0.5
40CrMnMo、40CrMo 30CrMnSi、40Mn 345Mn3	钻头接头 钻探工具 管类零件	淬火 调质	0.25~0.4

A.2　聚乙烯醇合成淬火剂稀溶液的配制

聚乙烯醇合成淬火剂供应状态为浓缩液。使用时要加水稀释成不同含量的水溶液（以下简称淬火液）。配制方法见公式（A.1）：

$$M = NW/P \tag{A.1}$$

式中　M——合成淬火剂浓缩液的质量（kg）；

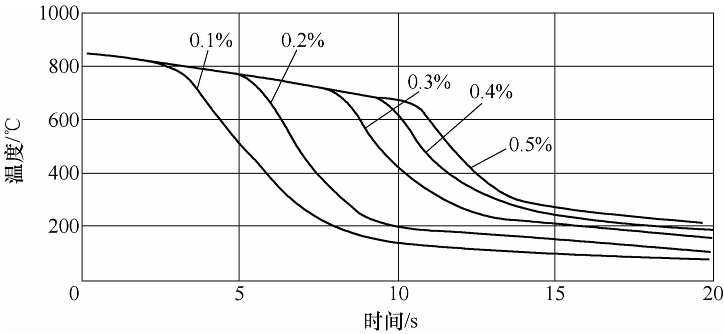
N——所要配制淬火液的含量（质量分数,%）；

W——所配淬火液的质量（kg）；

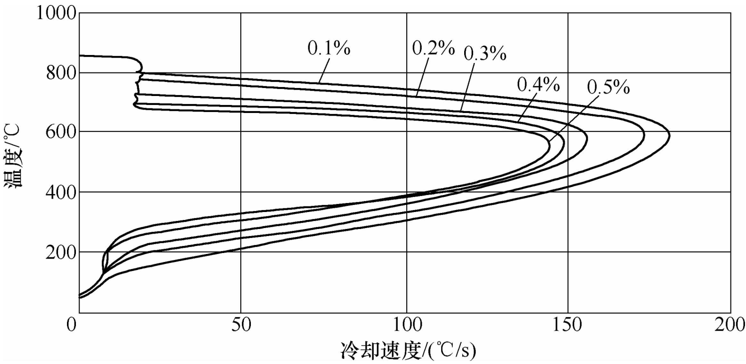
P——合成淬火剂的实际含量（质量分数,%）。

A.3　淬火液含量的测定

A.3.1　由于赤热的工件不断地与淬火液接触，淬火液中聚乙烯醇的含量也随着变化，一般随着使用时间的增长，淬火液的有效含量逐渐降低，冷却性能也随着改变（见图A.1、图A.2）。



图A.1　不同含量聚乙烯醇水溶液在30℃静止状态下的冷却过程曲线（温度-时间的函数关系）



图A.2　不同含量聚乙烯醇水溶液在30℃静止状态下的冷却速度曲线（温度-冷却速度的函数关系）

A. 3. 2　为了保证热处理工件的质量，必须使淬火液中聚乙烯醇的含量稳定在一个适当的范围内，由于淬火液中含聚乙烯醇量很少，一般在 0. 1% ~0. 5% 范围内，因此采用测量比重值、折光率的方法难以准确控制其含量，应按 JB/T 4392—2011 中第 4 章的规定，采用烘干称重进行测定。

A. 3. 3　在连续生产时，至少每周取样测定一次。根据测定结果可对淬火液的含量及时进行调整，以保持含量的稳定。

A. 4　淬火液温度的控制

A. 4. 1　淬火液温度变化时，其冷却性能有明显的改变（见图 A. 3、图 A. 4）；液温增高，冷却速度减慢；当液温高于 50℃时，冷却速度大幅度地降低，往往会出现不完全淬火及硬度偏低的现象。因此一般情况下，淬火液的使用温度不应超过 45℃。

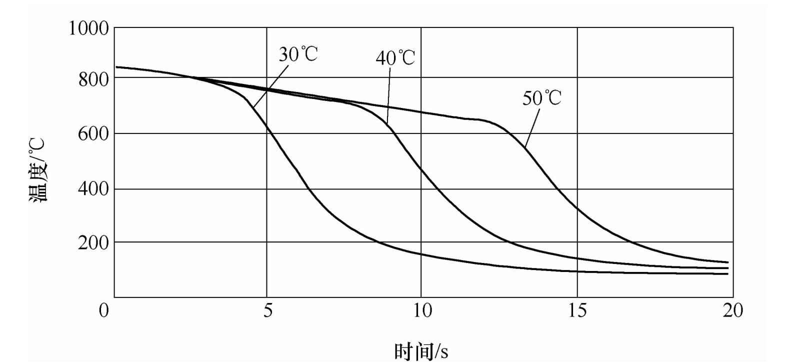


图 A. 3　0. 1% 聚乙烯醇水溶液在不同温度下的冷却过程曲线（温度-时间的函数关系）

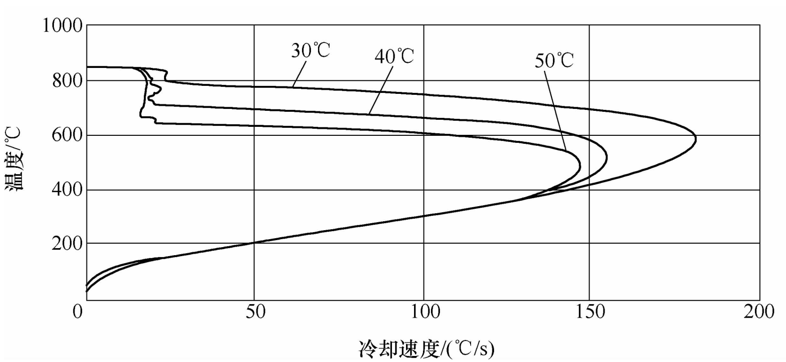


图 A. 4　0. 1% 聚乙烯醇水溶液在不同温度下的冷却速度曲线（温度-冷却速度的函数关系）

A. 4. 2　为了控制淬火液的温度，应在淬火槽内设置冷却器、加热器以及循环装置，也可在淬火槽中放置蛇形管供加热或冷却用。尽量避免采用表面接触电加热器或烧红的铁块等进行加热，以防止槽中聚乙烯醇大量的烧损和分解。

A. 5　淬火液的消泡、防腐和防锈

A. 5. 1　淬火液的消泡

A. 5. 1. 1　在使用过程中，由于淬火液的喷淋、循环、搅动等容易产生大量泡沫，造成淬火冷却不

均匀，影响工件淬火质量。因此，在生产中应采用技术规格适宜的循环泵，扬程不宜过高，不应超过30m。采用螺旋桨搅拌时，转速应控制在450r/min以下。

A.5.1.2 如果需要进一步消除泡沫，可加入少量的消泡剂，直接滴入淬火槽中。所用消泡剂加入量应小于0.01%。

A.5.2 淬火液的防腐

A.5.2.1 淬火液在静止条件下遇真菌易繁殖，会逐渐产生臭味，颜色变黑，以致失效。为了防止槽中和管道内真菌在液体中的繁殖，淬火槽应加盖防止槽液被污染，使用过程中，应避免灰尘、油污、杂物等掉入槽液中。淬火液长期不用时，应做到淬火液每天搅动或循环一次，以延长淬火液使用寿命。

A.5.2.2 当因气温过高欲进一步提高防腐效果时，可向槽中加入少量防腐剂。

A.5.3 淬火液的防锈

A.5.3.1 淬火液含有一定的防锈剂，具有较好的防锈性能，但在高温、高湿季节里，工件淬火后有时会生锈，在淬火操作中可以采取控制工件的淬火终冷温度的办法，使工件表面残存的水分尽快蒸发掉。通常淬火终冷温度应控制在150～250℃左右，在不影响工件淬火技术条件时，可适当调整。

A.5.3.2 对于形状复杂、尺寸较小的工件，当淬火终冷温度难以控制时，可在淬火槽中加入少量防锈剂，能显著提高防锈效果。

第九节 热处理用氩气、氮气、氢气一般技术条件

一、概论

热处理工艺材料是保证热处理质量的重要条件之一。为了控制热处理工艺材料质量，首先必须制定各种主要工艺材料的专门技术条件，提出一定的技术要求，并逐渐形成热处理工艺材料的标准体系；同时还要实行热处理工艺材料的定点生产供应，稳定生产供应单位的生产流程和质量保障体系，加强生产企业出厂检验和使用企业的入厂复验。

本标准的制定不但使我国机械工业热处理工艺材料标准增加了新内容，而且使机械工业热处理工艺材料标准体系更完整，对提高热处理水平和质量有重要作用，促进我国机械工业国际合作的发展和机械产品走向世界。

热处理气氛一般分为两大类，一类为单一气氛，另一类为制备气氛。制备气氛已在JB/T 9208《可控气氛分类及代号》中做了规定。热处理用单一气氛有氩气、氮气、氢气、氦气及其他惰性气体等。在我国热处理中使用的单一气氛主要是氩气、氮气、氢气，而很少使用氦气等其他惰性气体，因此本标准的内容范围为热处理常用的氩气、氮气、氢气。

热处理用氩气、氮气、氢气主要由气体生产企业生产供应，只有少数是机械行业企业本单位生产，所以在制定标准时，应在满足热处理生产要求前提下，尽量参照和采用国内现有的标准（含企标）。

在国外，关于热处理用气体的技术要求，有的在热处理工艺文件中提出，有的则列出专门的技术标准，目前以美国军用标准权威性最强、专门的热处理用气体有：MIL-A-18455C《氩》、MIL-P-27401C《氮》。

我国已逐渐形成了关于气体的国标系列，主要有关标准如下：GB/T 4842《氩》、GB/T 8979《纯氮高纯氮和超纯氮》、GB/T 3864《工业氮》等。部门还制定了专门的标准：HB 5412《热处理

用氩气》、HB 5413《热处理用氮气》。

二、标准应用说明

1. 关于技术要求

本标准中气体的技术要求均来源于相应的国标，根据热处理生产要求，分别选用相应国标的合适级别。高纯氩、氩气技术指标选用 GB/T 4842 的合格品级，高纯氮、纯氮技术指标选用 GB/T 8979中优级品级，工业用气态氮技术指标选用 GB/T 3864 中的Ⅰ类、Ⅱ类；氢气技术指标选自 GB/T 7445 中的纯氢气级。

本标准的技术指标与国标、航标及美国军标的技术指标进行了比较，如表 7.9-1 和表 7.9-2 所示。从表 7.9-1 可以看出，本标准中高纯氩的技术指标比航标要高，而氩气技术指标与航标相同，还略高于美军标。从表 7.9-2 可以看出，本标准中高纯氮和纯氮的技术指标与航标相当，还分别略高于美军标 MIL-P-27401C 的 C 级和 B 级；工业用气态氮气中Ⅰ类的技术指标与航标的工业氮气及美军标中 A 级相当，考虑到我国机械行业热处理中氮气的实际应用场合很广，技术要求差异很大，所以本标准中工业用气态氮列入了相应 GB/T 3864 中Ⅱ类的技术要求。

表 7.9-1　各类标准氩气技术指标的比较

类　别	名　称	级别	指标要求（体积分数,%）						
			氩含量	氮含量	氢含量	氧含量	总碳含量（以甲烷计）	水含量	其他
国标	高纯氩	优等品	≥99.9996	≤0.0002	≤0.00005	≤0.0001	≤0.00005	≤0.0001	—
		一级品	≥99.9993	≤0.0004	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001	≤0.00026	—
		合格品	≥99.999	≤0.0005	≤0.0001	≤0.0002	≤0.0002	≤0.0004	—
	氩气	—	≥99.99	≤0.007	≤0.0005	≤0.001	≤0.001	≤0.002	—
航标	高纯氩	—	≥99.999	≤0.0005	≤0.0005	≤0.0005	≤0.001	≤0.001	—
	纯氩	—	≥99.99	≤0.007	≤0.0005	≤0.001	≤0.001	≤0.002	—
美军标	氩气	—	≥99.985	≤0.005	≤0.005	≤0.005	—	—	—
本标准	高纯氩	—	≥99.999	≤0.0005	≤0.0001	≤0.0002	≤0.0002	≤0.0004	—
	氩气	—	≥99.99	≤0.007	≤0.0005	≤0.001	≤0.001	≤0.002	—

表 7.9-2　各类标准氮气技术指标的比较

类　别	名　称	级别	指标要求（体积分数,%）						
			氩含量	氮含量	氢含量	氧含量	总碳含量（以甲烷计）	水含量	其他
国标	高纯氮	优级品	—	≥99.9996	≤0.00005	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001	
		一级品	—	≥99.9993	≤0.0001	≤0.0002	≤0.0002	≤0.00026	
		合格品	—	≥99.999	≤0.0001	≤0.0003	≤0.0003	≤0.0005	
	纯氮	优级品	—	≥99.996	≤0.0005	≤0.001	CO≤0.0005 CO_2≤0.0005 CH_4≤0.0005	≤0.0005	

（续）

类　　别	名　称	级别	指标要求（体积分数,%）						
			氩含量	氮含量	氢含量	氧含量	总碳含量（以甲烷计）	水含量	其他
国标	纯氮	一级品	—	≥99.99	≤0.001	≤0.005	CO≤0.0005 CO_2≤0.001 CH_4≤0.0005	≤0.002	
	工业用气态氮	Ⅰ类	—	≥99.5	—	≤0.5	—	露点≤－43℃	
		Ⅱ类一级	—	≥99.5	—	≤0.5	—	游离水≤100mL/瓶	
		Ⅲ类二级	—	≥98.5	—	≤1.5	—		
航标	高纯氮	—	—	≥99.999	—	≤0.0002	—	≤0.0005	
	纯氮	—	—	≥99.995	—	≤0.0005	—	≤0.003	
	工业氮气	—	—	≥99.5	—	≤0.5	—	≤0.008	
美军标	C级		≤0.0002	≥99.995	≤0.00005	≤0.002	CO≤0.0005 CO_2≤0.0005 CH_4≤0.0005	≤0.00057	总杂质≤0.005
	B级		≤0.002	≥99.99	—	≤0.005	CO≤0.0005 CO_2≤0.0005 CH_4≤0.0005	≤0.00115	≤0.01
	A级		—	≥99.5	—	≤0.5	CH_4≤0.00583	≤0.00263	≤0.5
本标准	高纯氮	—	—	≥99.999	≤0.0001	≤0.0003	≤0.0003	≤0.0005	
	纯氮	—	—	≥99.996	≤0.0005	≤0.001	CO≤0.0005 CO_2≤0.0005 CH_4≤0.0005	≤0.0005	
	工业用气态氮	Ⅰ	—	≥99.5	—	≤0.5	—	露点≤－43℃	
		Ⅱ类一级	—	≥99.5	—	≤0.5	—	游离水≤100mL/瓶	
		Ⅲ类二级	—	≥98.5	—	≤1.5	—		

2. 各种气体的用途

本标准列出了各种气体的一般用途及不适用范围，这些内容主要是根据生产实践经验总结出来的，同时参考了国内外有关标准。氮气不适用于沉淀硬化不锈钢、马氏体时效钢、高温合金、钛合金的保护加热，因为这种情况可能产生表面增氮，影响使用性能。氮气不适用于沉淀硬化不锈钢、马氏体时效钢在美军标 MIL-H-6875G 中有规定；氮气不适用于高温合金在美国麦道公司标准 DPS6.30 中有规定；氮气不适用于钛合金在航标 HB/Z 137 中有规定。氢气不适用于高强度钢、钛合金、黄铜的热处理保护，因为可能产生氢脆。

3. 关于检验方法

本标准对检验方法只提出按相应国标执行，而没有具体的叙述，一方面避免本标准冗长和重点不突出，另一方面又可使检验方法随国标修改更新，适应试验方法的发展变化。

4. 关于验收规则

本标准强调生产企业的质量控制和检验，作为生产企业应严格按国标和本标准进行检验和验收；而使用单位主要是检查验收合格证，必要时按有关国标和本标准进行检验和验收。

5. 关于标志、包装、运输和贮存

本标准中关于标志、包装、运输、贮存都规定执行相关标准。

瓶装氩气和氮气在20℃时压力应为（14±0.7）MPa，而瓶装氢气在20℃时压力应为（12.3±0.5）MPa，在其他温度下的相应压力要求可参考相关标准或有关手册进行换算。为了在使用后下次再将装新气时，不致混入空气影响新气质量，本标准规定不能把气瓶中气体完全用光，而应使空瓶保持一定余压，氩气、氢气瓶内余压不得低于0.2MPa，氮气瓶内余压不得低于0.5MPa。

氢气是无色、无味、无嗅的气体，并且又易燃易爆，它与氯、氧、空气的混合物均有爆炸危险，所以在氢气的使用和贮运时要特别注意安全。在氢浓度有可能增加的地方应设有通风装置，必要时安装氢气警报仪，对氢气浓度进行监测；瓶装氢气存放地方应无明火、远离热源、通风良好、远离氧化剂和可燃材料。存放库房的建筑、电气、防火、防爆要求应符合国家有关安全规定。使用中特别要避免与氯、氧、空气混合至爆炸极限，氢与空气的混合物爆炸极限为4%～75%（体积分数）氢，氢与氧的混合物爆炸极限为4%～94%（体积分数）氢，氢与氯的混合物为1∶1时，在光照下即可爆炸。这些内容在GB/T 4962和GB/T 7445中都有详细规定，因此本标准规定氢气使用、包装、运输、贮存中就注意安全，应符合GB/T 4962和GB/T 7445的有关规定。（北京航空材料研究院王广生供稿）

三、标准内容（JB/T 7530—2007）

热处理用氩气、氮气、氢气　一般技术条件

1　范围

本标准规定了热处理用氩气、氮气和氢气的技术要求，用途，检验方法，验收规则及标志、包装、贮运方法。

本标准适用于热处理的保护、冷却及其他用途的气体。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 190　危险货物包装标志

GB/T 3864　工业氮（GB/T 3864—1996，eqv ГОСТ 9293：1974）

GB/T 4842　氩

GB 4962　氢气使用安全技术规程

GB 5099　钢质无缝气瓶（GB 5099—1994，neq ISO 4705：1983）

GB 7144　气瓶颜色标志

GB/T 7445　纯氢、高纯氢和超纯氢（GB/T 7445—1995，eqv JIS K0512：1974）

GB/T 8979　纯氮

GB/T 8980　高纯氮

3 技术要求

热处理用高纯氩、纯氩、高纯氮、纯氮、工业氮、氢气可分别选用 GB/T 4842 高纯氩和纯氩、GB/T8980 高纯氮的合格品级、GB/T 8979 纯氮的优等品级、GB/T 3864 工业氮的Ⅰ、Ⅱ类和 GB/T 7445 纯氢、高纯氢和超纯氢的纯氢气级。其品质应符合表 1 的技术要求。

表 1

名称		技术指标（体积分数,%）					
		氩含量	氮含量	氢含量	氧含量	总碳含量（以甲烷计）	水含量
高纯氩气		≥99.999	≤0.0004	≤0.00005	≤0.00015	CH_4-CO+CO_2≤0.0001	≤0.00003①
纯氩		≥99.99	≤0.005	≤0.0005	≤0.001	CH_4≤0.0005 CO≤0.0005 CO_2≤0.001	≤0.0015①
高纯氮		—	≥99.999②	≤0.0001	≤0.0003	≤0.0003	≤0.0005①
纯氮		—	≥99.996②	≤0.0005	≤0.001	CO≤0.0005 CO_2≤0.0005 CH_4≤0.0005	≤0.0005①
工业氮	优等品	—	99.5	—	≤0.5	—	露点≤-43℃
	一等品	—	99.5	—	≤0.5	—	无①
	合格品	—	98.5	—	≤1.5	—	游离水≤100mL/瓶①
氢气		—	≤0.006	≥99.99	≤0.0005	CO≤0.0005 CO_2≤0.0005 CH_4≤0.001	≤0.003

① 液态纯氩、工业氮不规定水分含量。

② 包含微量惰性气体氦、氖、氪。

4 用途

各种气体在热处理中的一般用途及不适用范围见表 2。

表 2

名称	一般用途	不适用范围
高纯氩气	真空热处理回充气和冷却气	—
氩气	各类不锈钢、高温合金、钛合金、铜合金、精密合金、贵金属的热处理加热保护气	—
高纯氮	各类结构钢、工具钢真空热处理回充气和冷却气，离子渗氮气源	不适用于沉淀硬化不锈钢、马氏体时效钢、高温合金、钛合金等热处理加热保护或真空热处理回充气
纯氮	各类结构钢、工具钢热处理加热保护气，渗碳、碳氮共渗的载气、离子渗氮气源	
工业氮		
氢气	不锈钢、低碳钢、电工钢的退火保护气	不适用于高强度钢、钛合金、黄铜热处理保护气体

5　检验方法

5.1　高纯氩气按 GB/T 4842 规定进行检验。

5.2　纯氩按 GB/T 4842 规定进行检验

5.3　高纯氮按 GB/T 8980 规定进行检验。

5.4　纯氮按 GB/T 8979 规定进行检验。

5.5　工业氮按 GB/T 3864 规定进行检验。

5.6　氢气按 GB/T 7445 规定进行检验。

6　验收规则

6.1　热处理用高纯氩气、纯氩、高纯氮、纯氮、工业氮、氢气由生产厂品质检验部门进行验收。

6.2　生产厂应保证出厂的产品品质符合本标准的要求，并出具合格证。合格证内容包括：

a）产品名称和品质等级；

b）生产厂名称；

c）生产许可证；

d）生产日期和生产批号；

e）执行的标准号；

f）钢瓶号码；

g）数量，单位为 m^3；压力，单位为 1MPa 或质量，单位为 kg。

6.3　使用单位首先检查产品合格证，必要时可按本标准规定的检验方法和验收规则进行检验验收，其技术指标应符合本标准的技术要求。

6.4　当检查结果全部符合本标准要求时，整批验收。

6.5　当被检查样品中有一项指标不符合本标准要求时，则从同批产品中重新加倍取样检验，若仍有任何一项指标不符合本标准要求时，则整批拒收。逐瓶（容器）检验的产品不能重新取样检验。

6.6　用户和生产厂对产品品质发生争议时，由双方共同检查验收和协商解决，或者提请仲裁。

7　标志、包装、运输和贮存

7.1　气瓶和容器的标志、包装、运输和贮存应符合原国家劳动局颁布的《气瓶安全监察规程》、《压力容器安全监察规程》和《危险货物运输规则》等有关规定。

7.2　包装标志应符合 GB 190 的规定。

7.3　气瓶颜色标志应符合 GB 7144 的规定。盛装氩气的气瓶应漆成银灰色，并分别标上深绿色的“高纯氩气”“纯氩”字样；盛装氮气的容器应漆成黑色，并分别标上淡黄色的“高纯氮”“纯氮”“普氮（或工业氮气）”字样；盛装氢气的气瓶应漆成淡绿色，并标上大红色的“氢气”字样。

7.4　瓶装氩气、氮气、氢气的气瓶应选用钢质无缝气瓶，气瓶及最高允许压力符合 GB 5099 的规定。

7.5　瓶装氩气和氮气的压力在 20℃时应为 14MPa ±0.7MPa，瓶装氢气压力在 20℃时应为 12.3MPa ±0.5MPa。其测量用的压力表精度不低于 2.5 级。

7.6　瓶装气体在出厂前应检查瓶嘴、瓶阀螺纹连接处及瓶阀阀杆处无泄漏，并戴上瓶帽。

7.7　用后空瓶返回生产厂时，氩气、氢气瓶内余压不得低于 0.2MPa，氮气瓶内余压不得低于 0.5MPa。

7.8　氢气使用、包装、运输和贮存中应注意安全，应符合 GB 4962 和 GB/T 7445 的规定。

第十节　高、中温热处理盐浴校正剂

一、概论

盐浴校正剂质量直接关系到工件表面的加热质量，因此对工件的使用性能和使用寿命有显著影响。本标准将对我国盐浴校正剂的研制和生产起到积极的指导和推动作用，并对提高我国盐浴校正剂技术和盐浴热处理水平具有重要的实际意义。

本标准制定于1987年，于1999年进行了第一次修订，于2008年进行了第2次修订。

二、标准应用说明

1. 校正剂的分类和通用性

习惯上，一般将盐浴校正剂分为中温盐浴校正剂和高温盐浴校正剂两类。这种分法简单易懂，容易接受，但其系统性较差，共性不突出，因此并不是一种科学的分类方法。

大家知道，在校正剂的实际应用中，一般存在着两种情况。第一种情况是配方完全相同的校正剂，既用于高温盐浴，又用于中温盐浴，所不同的仅仅是每班校正次数不同而已。例如，某厂高温和中温盐浴校正剂同为：0.8kg二氧化钛+0.4kg二氧化硅+0.1kg硅钙铁，高温每班校正两次，中温每班校正一次。第二种情况是高温盐浴和中温盐浴各用不同的校正剂，每班校正次数也稍有不同。例如，某厂高温盐浴校正剂为硼酸，每班校正两次，中温盐浴校正剂是硼砂，每班校正一次。就第二种情况而论，将高温盐浴校正剂原封不动地（包括每班校正次数）用于中温盐浴，其实也未尝不可（反之亦然）。将硼酸作为中温盐浴校正剂使用，仍然具有作用效果。总之，高温盐浴和中温盐浴校正剂，原则上可相互通用，当然，并不是指作用效果上相同。

由此可见，按用途将校正剂分为高温盐浴和中温盐浴校正剂，概念上容易混淆，不能在标准分类中采用。如果按配制物种数将校正剂分为单一校正剂（由一种物质组成）和复合校正剂（由两种或两种以上物质组成），上述缺点就不存在了。

为了使用上的方便，不妨对校正剂做更细的划分。这里，可将标准上规定的分类作为第一级分类，用途作为第二级分类，由此可引申出四种校正剂，即

单一｛高温盐浴校正剂；中温盐浴校正剂｝　　复合｛高温盐浴校正剂；中温盐浴校正剂｝

2. 单一校正剂和复合校正剂技术要求

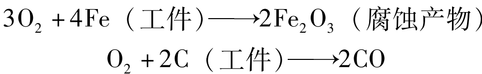
（1）标准中规定的单一校正剂共10种。根据对全国九个地区共62家代表性企业的调查材料，这10种物质是目前国内常用的单一校正剂。它们所含杂质一般在10种左右，计有硫酸盐、水、铁、钙、硅、氯化物、磷酸盐、重金属、碳酸盐、硝酸盐等。其中硫酸盐、水和铁不仅为这些单一校正剂所共有，它们对盐浴加热性能的影响，也已为各种研究资料所证实。其余杂质，有的是无害或基本无害，有的是含量甚微，不会对盐浴加热性能产生实际影响。因此，确定硫酸盐、水和铁为校正剂有害杂质是切合实际的。

1）硫酸盐。盐浴中硫酸盐，除通过校正剂不断带入外，盐浴原材料（氯化盐特别是氯化钠）是其另一个来源。曾经对国内六个地区的热处理盐浴用氯化钠进行抽样检查，七个样品中硫酸盐的含量见表7.10-1。硫酸盐在盐浴中引起氧化、脱碳，例如：



$$2Na_2SO_4 + 2Fe（工件）\longrightarrow 2FeS（腐蚀产物）+ 2Na_2O + 3O_2$$

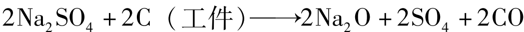
反应生成的氧又使工件遭受腐蚀或脱碳：



$$3O_2 + 4Fe\text{（工件）} \longrightarrow 2Fe_2O_3\text{（腐蚀产物）}$$

$$O_2 + 2C\text{（工件）} \longrightarrow 2CO$$

在较高温度下，硫酸盐也可直接造成工件脱碳：



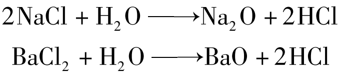
$$2Na_2SO_4 + 2C\text{（工件）} \longrightarrow 2Na_2O + 2SO_4 + 2CO$$

表 7.10-1　样品中硫酸盐的含量

样　号	氯化钠中硫酸盐含量(质量分数,%)				SO_4^{2-}(各种硫酸盐中 SO_4^{2-} 之和)(质量分数,%)
	$CaSO_4$	$MgSO_4$	K_2SO_4	Na_2SO_4	
1	—	—	—	—	微量
2	—	0.262	—	—	0.210
3	0.070	0.087	—	—	0.119
4	0.713	0.180	—	0.108	0.720
5	—	—	—	—	微量
6	0.874	0.205	—	—	0.780
7	0.950	0.113	0.780	0.700	1.690

研究结果表明，工件的氧化、脱碳程度随盐浴中硫酸盐含量的增加而加剧；硫酸盐含量一定时，其作用程度随温度升高而递增；硫酸盐的作用只与硫酸根有关，与盐中阳离子种类无关；硫酸盐反应结果，将导致熔盐碱性增强。

2）水。水对工件的作用，除前面讲到过的以外，它与熔融氯化盐反应还使熔盐化学活性增加，例如：



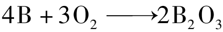
$$2NaCl + H_2O \longrightarrow Na_2O + 2HCl$$

$$BaCl_2 + H_2O \longrightarrow BaO + 2HCl$$

盐浴中的水，一方面来自大气，一方面来自氯化盐和校正剂。要事先去除氯化盐和校正剂中的水，往往不像我们想象的那么容易。苏联研究者证明，氟化镁于900℃、氯化钡于600℃预先灼烧3～4h后，方可使其使用性能达到最好水平。在较低温度下干燥，即使延长加热时间，仍不能将水完全去除。在氯化钡盐浴中，水的影响虽可通过缓慢加热的方法加以减少，但在实际生产中是做不到这一点的。

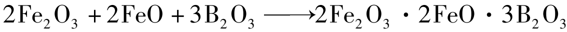
3）氧化铁（Fe_2O_3）。像熔盐中的某些“杂质”一样，氧化铁不仅对熔盐物理性能发生影响，更主要的是会导致其化学活性增加，使工件产生氧化、脱碳。

在氯化钡高温盐浴中进行的试验表明，当采用含单质硼的校正剂时，即使熔盐碱性较高，箔片加热后仍具有较高的剩余含碳量，且电极的腐蚀溶解过程大为减缓。这被认为是硼首先与熔盐中的氧猛烈反应，生成硼的氧化物：



$$4B + 3O_2 \longrightarrow 2B_2O_3$$

所生成的氧化硼再与氧化铁反应：



$$2Fe_2O_3 + 2FeO + 3B_2O_3 \longrightarrow 2Fe_2O_3 \cdot 2FeO \cdot 3B_2O_3$$

而使熔盐中的氧化铁含量处于低水平。

上述三种杂质的控制指标，是在查阅大量化工材料标准的基础上提出的，按现有生产水平不难达到。除少数情况外，各单一校正剂中同种杂质含量的控制指标力求统一，以利于组织生产和标准贯彻执行。

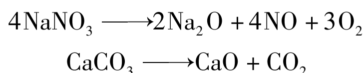
在各企业标准中，除二氧化硅的水分有规定外，其余未做控制。标准对此做了综合考虑，只有氯化镁和氯化铵例外。硫酸盐和铁的情况与此类似，在企业标准中一般没有要求，现一律纳入标准。硼砂中结晶水含量高达47%（质量分数），且每次校正的用量较大，故在制标时做了特别考虑，将常用的含结晶水的硼砂改为无水硼砂。硅钙铁中铁的含量较高，有时可接近10%（质量分

数），考虑到现有生产水平以及每次用量较少等情况，将铁归入有害杂质，更名为硅钙。

（2）目前，各单位所使用的复合校正剂，一部分为自配自用。一部分为专业生产厂产品。为保护专业厂的合法利益，并顾及该类校正剂品种繁多，新型校正剂推入市场的潜力很大，故标准不对其成分配方做出规定。

标准规定的复合校正剂杂质种类，在单一校正剂基础上另增加碳酸盐和硝酸盐两种。这两种虽在单一校正剂中含量甚微，因而未做规定，但考虑到对复合校正剂配制原料未加规定这一实际情况，因此对这两种杂质进行控制是必要的。

硝酸盐和碳酸盐的分解产物使熔盐碱性增高，并可能使工件产生氧化、脱碳。例如，硝酸钠和碳酸钙发生分解



$$4NaNO_3 \longrightarrow 2Na_2O + 4NO + 3O_2$$

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

使盐浴加热性能变坏。这种影响虽可通过空载条件下适当提高盐浴温度部分消除，但根本途径还是靠事先预防为好。

（3）校正剂的一般要求，是根据盐浴工艺性能提出的。在评价校正剂质量时，应按实际情况加以考核。

1）校正效果好。指校正剂对熔盐的净化效果好。标准中对校正剂防脱碳质量的试验方法和评价指标做了详细规定。

2）不爆炸。从安全性考虑是必要的。

3）不结壳。校正剂加入后，短时结壳或出现浮膜是容许的。例如，当用碳化硅（SiC）对氯化钡高温盐浴进行校正时，加入质量分数为0.12%的SiC所产生的浮膜存在时间为15～20min，质量分数为0.17%的SiC为20～25min。

相反情况下，经常存在的浮膜会使盐浴温控失灵，例如，当炉膛采用硅铝耐火砖并用较多量氟化镁（MgF_2）校正时，常常出现这种现象。此时，应考虑变更炉膛材料，或降低氟化镁加入量等措施。

4）熔盐清澈、流动性好。熔盐中高熔点固体质点的去除，使熔盐变得清澈，熔盐与工件的热交换性能因而获得改善。熔盐流动性则与其黏度有关。

易流动的熔盐一般具有较高的导电性，并能促使校正剂的作用产物与熔盐很好地分离。校正剂加入后，往往使熔盐黏度增大。例如，氧化铝（Al_2O_3）、氧化镁（MgO）和氧化硅（SiO_2）会使氯化钾和氯化钠共熔物的黏度强烈增大，当加入质量分数为2% Al_2O_3 时共熔物黏度由0.0013Pa·s猛增到0.14Pa·s，即增加百倍以上。这就意味着，为促进校正过程进行，常需要提高校正时的熔盐温度，促使其黏度减小，便于产物分离。当不能做到这一点时，应对校正剂配方再进行研究。

5）易除渣。实际包含两层意思，即校正产物易自熔盐中分离和分离出来的沉淀物易于捞除。后者主要取决于炉渣的黏度。

炉渣黏度与其成分和温度有关。组成炉渣的各种氧化物，按其化学性质有酸性，碱性和两性氧化物之分。组成炉渣的常见氧化物中，SiO_2、B_2O_3 和 TiO_2 为酸性氧化物，CaO、FeO、MgO、BaO和 Na_2O 为碱性氧化物，Fe_2O_3 和 Al_2O_3 为两性氧化物。视这些氧化物含量不同，炉渣可呈酸性，也可呈碱性。一般情况是酸性炉渣比碱性炉渣黏度高；酸性（碱性）炉渣的黏度随其中碱性（酸性）氧化物含量的增加而降低。作为例子，当采用二氧化硅＋二氧化钛＋硅钙铁作为校正剂时，由于形成酸性炉渣（黏度较高）而不易捞除。如将其成分中的二氧化硅改为氟化镁，则因炉渣中碱性氧化物（MgO）含量增加使黏度降低，而变得易于捞除了。

此外，炉渣黏度一般随温度升高而降低，故调整捞渣时的熔盐温度，可在一定范围内改变炉渣黏度。

6）不腐蚀和粘附工件。工件遭受腐蚀后会导致基体尺寸减小。生产用盐浴导致工件厚度或直径减小的量一般为0.01～0.05mm。

工件加热后的表面状态，与所使用的校正剂有关。当采用与氧和铁的氧化物有较强反应倾向的校正剂时，工件加热后表面往往比较洁净；相反情况下工件表面有一层氧化铁膜，甚至粘附着校正剂的作用产物。

清洁表面的获得，虽可为后序带来方便，但从道理上讲并非总是一件好事，因为这是以工件基体的腐蚀溶解为代价的。如果溶解过于强烈，可能使工件尺寸减小到不能容许的程度。

这些情况说明，校正剂种类对加热后的工件表面状况有明显影响。当需要考察校正剂的防氧化质量时，可用箔片失重法评定。

7）工件残盐清洗。残盐清洗的难易程度与工件形状，熔盐种类等因素有关。不通孔、细长孔、型腔内壁上的残盐比工件表面上的残盐难清洗。高温熔盐比中温熔盐难清洗。

残盐使工件在工序存放期中遭受电化学腐蚀。腐蚀程度与环境温度、湿度和放置时间有关。因残盐未及时清洗或清洗不彻底而造成工件报废的例子，并非鲜为人知。湿热夏季尤应注意这一点。

校正剂质点和其他固体质点粘附在工件表面，造成残盐清洗困难这一点，总是被忽略。为了改善残盐清洗质量，添加校正剂并经仔细除渣之后，应再过15～20min，才能使工件入炉加热；需要进行长时间加热的工件，入炉后应在盐浴中间断性地上下运动约1min，以迫使固体质点不能在工件表面沉积。当工件上的某些面需要保持清洁时，事先用细密的铁丝网布将这些面包裹起来，往往能收到十分满意的效果。

3. 校正剂的防脱碳质量

盐浴校正剂防脱碳质量这个概念，为本标准首次使用。它与盐浴脱碳作用虽有内在联系，但前者指的是产品质量，后者指的是工艺质量，在含义上是完全不同的。目前，可用于评价校正剂防脱碳质量的方法有四种，现分述如下。

（1）熔盐总碱量法。工件的脱碳程度与熔盐中碱金属和碱土金属氧化物的积累（即碱性强弱）有关。对氯化钡高温盐浴和氯化钡加氯化钠中温盐浴来讲，氧化钡和氧化钠的积累被认为对工件脱碳最为有害。

用这种方法评价校正剂防脱碳质量的可能性，决定于熔盐总碱量与工件脱碳层深度是否存在较明确的函数关系。大量生产实践和各种试验研究证明，这种关系并不存在。例如，在同一台高温盐浴炉上，于校正前及校正后1h、2h、3h、4h、5h、6h各试验一次，熔盐总碱量（用BaO代表）和金相试样脱碳深度（h）的试验结果见表7.10-2和图7.10-1。由此看出，当熔盐总碱量为微量时，金相试样上仍有明显脱碳；而对于校正前的较高碱量（BaO质量分数为0.13%），试样脱碳程度却并非最大。这就意味着，能有效去除熔盐中碱金属和碱土金属氧化物的校正剂，并不一定能可靠防止工件脱碳。因此，利用校正剂消除熔盐碱性的能力来评价其防脱碳质量是不合适的。

表7.10-2　熔盐总碱量（用BaO代表）和金相试样脱碳深度的试验结果

试验时间	试验温度/℃	试验结果		试验时间	试验温度/℃	试验结果	
		BaO(质量分数,%)	h/mm			BaO(质量分数,%)	h/mm
校正前	1230	0.09	0.017	校正后3h	1230	微量	0.015
校正后		微量	0.012	校正后4h		微量	0.016
校正后1h		微量	0.016	校正后5h		微量	0.016
校正后2h		微量	0.014	校正后6h		0.06	0.016

注：箔片和金相试样加热5min。

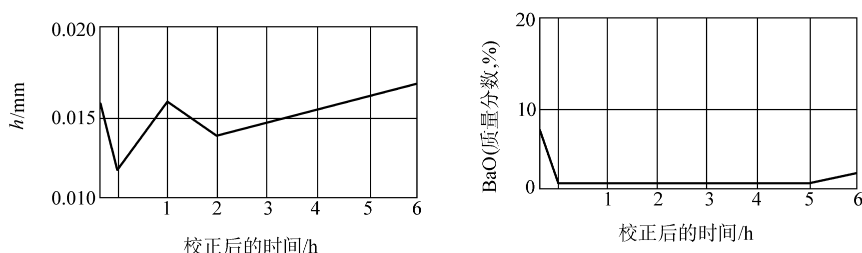


图 7. 10-1　按表 7. 10-2 数据绘制的曲线

（2）熔盐总铁量法。在高、中温盐浴工作温度（700～1300℃）范围内，铁的氧化物以三氧化二铁（Fe_2O_3）、四氧化三铁（Fe_3O_4）和一氧化铁（FeO）三种形式存在于盐浴中。每种氧化物中铁与氧的亲和力，即氧化物的稳定性，均随温度升高而减小。此外，三种氧化物的稳定性按 Fe_2O_3-Fe_3O_4-FeO 的顺序递增。这一点可由它们的标准生成自由能变量 ΔG 随温度变化的关系得到证实（见图 7. 10-2）。

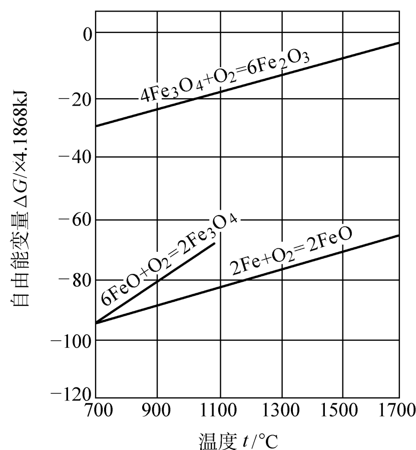
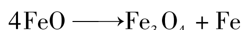


图 7. 10-2　铁的氧化物标准自由能变量与温度的关系

在熔盐冷却过程中，除非冷却进行得非常迅速，一般情况下，一氧化铁在 570℃附近将发生分解：



$$4FeO \longrightarrow Fe_3O_4 + Fe$$

而通常的化学分析方法，又不能将 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 分别测定出来。因此，一般是测出 $Fe_3O_4 + Fe_2O_3$ 中的铁，然后换算为 Fe_2O_3，为此代表熔盐中铁的氧化物总量。

通常认为，在同一温度下因 Fe_2O_3 的稳定性最差（见图 7. 10-2），它分解释放的氧将造成工件氧化、脱碳。但试验研究表明，同熔盐总碱量一样，熔盐总铁量与试样脱碳层深度也无确定的函数关系，如图 7. 10-3 所示。

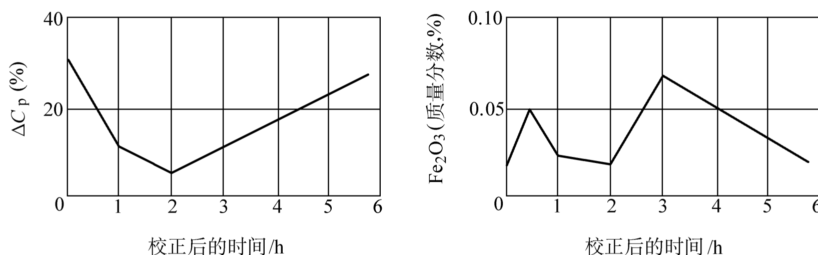
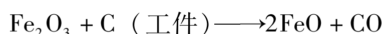


图 7. 10-3　熔盐总铁量与试样脱碳层深度的关系（试验温度 1230℃）

工件在高、中温盐浴工作温度下加热之前，都要经历由室温逐渐升温的过程即预热过程。室温和较低温度下工件基体的氧化导致生成不可见氧化膜（立方晶体结构的 Fe_2O_3），并在预热过程中逐渐变厚。这时，晶体结构比较完整的不可见膜被晶体缺陷较多的可见氧化膜所取代。研究证明，工件上的可见膜并非由单一物质组成。在膜的厚度方向上，靠近基体一侧铁的浓度较高，氧的浓度较低，因而形成 FeO；反之，在靠近熔盐一侧形成 Fe_2O_3；界于这两层之间的是 Fe_3O_4。

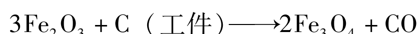
工件在盐浴中加热时，熔盐中的氧穿过氧化膜向基体扩散的结果，导致 Fe_3O_4 和 FeO 转变为

Fe_2O_3。这时，与基体相接触的 Fe_2O_3 将直接引起工件脱碳：



$$Fe_2O_3 + C\ (工件) \longrightarrow 2FeO + CO$$

或



$$3Fe_2O_3 + C\ (工件) \longrightarrow 2Fe_3O_4 + CO$$

这个过程是反复进行的，因此氧化膜中的 Fe_3O_4 和 FeO 扮演着氧的传递者的角色，而熔盐中的氧和基体中的碳则在浓度梯度作用下同时在氧化膜和基体中作相向扩散运动。根据图 7. 10-2，在盐浴工作温度下，扩散到基体的氧将主要消耗在与基体中碳的作用上，而不是氧化膜的长厚上，温度越高这种差别越大。

依据这种观点，在温度一定的前提下，工件的脱碳程度依赖于熔盐中氧的供应速度和氧在氧化膜中的扩散速度。在氧化膜厚度变化不大的情况下，则主要与氧的供应速度有关。但是，熔盐中的 Fe_2O_3 并不是氧的唯一提供者，它们所提供的氧又具有比较复杂的行为。因此，工件的脱碳程度与熔盐中 Fe_2O_3 量的多少无确定关系，这是容易理解的。

（3）金相和硬度法。用来确定试样（或工件）脱碳层深度的任何一种方法的合理性，取决于对脱碳层的定义。ISO 3887 将脱碳层深度定义为“从产品表面到其碳含量等于基体碳含量的那一点的距离”。日本 JIS G 0558 规定脱碳层深度“是指脱碳层表面到脱碳层和原材料的化学或物理性质的差异已不能区别的位置的距离”。GB/T 224—2008 则将脱碳层深度规定为全脱碳层和部分脱碳层深度之和，且“由试样边缘量至最初发现有珠光体或最初发现有其他组织的部分”为全脱碳层，部分脱碳层则“应自试样边缘开始，从发现珠光体或其他组织的部分量至钢的原来组织为止”。

在上面所列举的三个标准中，ISO 用含碳量变化来定义脱碳层深度，因而与“脱碳”的本义更为相符。金相法和硬度法显然不适用于 ISO 标准，因为它们测不出“其含碳量等于基体含碳量的那一点”。越接近基体，脱碳层的显微组织和硬度与基体的差别越小，要找准基体的界线将是不可能的。剥层化学分析法却能够做到这一点。

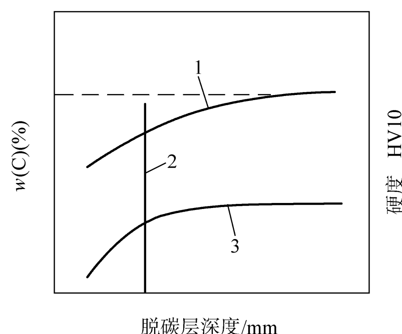


图 7. 10-4　9SiCr 原材料的脱碳层深度
1—剥层法试验结果　2—金相法试验结果
3—显微硬度法试验结果
虚线—原材料含碳量

对 9SiCr 原材料所做的对比试验（见图 7. 10-4）表明，金相法测得的脱碳层深度大约比剥层法小 2. 4 倍，淬火硬度法测得的脱碳层深度大约比剥层法小 1. 4 倍。这种情况表明，金相法和硬度法测量误差大，用它们评价校正剂的防脱碳质量是不可靠的。剥层法虽有较高的准确度，但因试验过程繁杂费时，因而不能贸然采用。

（4）箔片法。该法因操作简便，测定的准确度较高，以及一定条件下试验结果与试样脱碳层深度呈函数关系等原因，已获得越来越广泛的应用。

本标准在参考各种研究成果和所完成的制标试验工作的基础上，规定以箔片脱碳率（而不是剩余含碳量）作为校正剂防脱碳质量的评价指标。在规定每个等级的具体指标范围时，既注意到我国校正剂的现有水平，又为今后校正剂的发展留有余地。实际情况表明，标准中的规定是比较合理的。

用箔片法评价校正剂的防氧化质量也很方便，并可同校正剂防脱碳质量试验一起进行。箔片加热前、后各称量一次，校正剂的防氧化质量用箔片失重率评价。鉴于各种工件对防氧化质量的要求差异很大，实际生产中工件因氧化报废的情况又很少发生，所以标准未对校正剂的防氧化质量做统一规定。

4. 校正剂防脱碳质量的试验方法

标准所规定的一般试验法和仲裁试验法，除加热介质不同而外，其余并无差别。

（1）试样。标准规定的试样，为钢 T10 箔片，其外形尺寸为 0.08mm × 30mm × 120mm（厚 × 宽 × 长）。

箔片原材料之所以选择高碳钢，主要是从轧制工艺和脱碳敏感性这两方面考虑的。箔片碳含量越高，与熔盐的碳含量差越大，加热时脱碳敏感性越强，因而更能够反映出校正剂防脱碳质量的差异。例如，厚度为 0.1mm 的高碳钢[w(C) = 1.27%]箔片，于 1100℃加热 10min 后，其 w(C)的变化值为 0.87%。加热时间由 10min 延长到 30min 后，其 w(C)的变化值为 0.38%。这就表明，箔片碳含量一旦跌落到低碳钢水平，即使加热时间延长许多，碳含量的变化倾向仍然不如较高碳含量时的强烈。除此之外，碳钢的金相组织简单，它的脱碳倾向基本上只决定碳含量（不像合金钢那样还与合金元素的种类和含量有关），另外碳钢容易轧制成材，这些都是采用高碳钢箔片的优点。

箔片在盐浴中加热时，除与氧作用产生脱碳外，基体铁还同时遭受腐蚀，表现为加热后尺寸减小（或失重）。理想的脱碳过程，应该是尺寸不发生任何变化时的单纯脱碳过程。只有在这种情况下，才可以说试验结果真正代表了箔片的脱碳程度。为了说明这一点，不妨设想一种极端情况，即脱碳层的扩展速度与基体尺寸的损失速度相等时的情况，这时将永远“看”不到试样的脱碳现象。实际情况虽然不是这样，但试样尺寸变化对脱碳率试验结果有明显影响是毫无疑义的。因此，应采用较薄的箔片，使相应加热时间缩短，从而将箔片尺寸损失限制在尽可能小的程度。碳在较薄的箔片中更易于完成扩散过程，所以缩短加热时间对脱碳过程中所带来的影响并不明显。

国外采用的箔片厚度：日本日立公司为 0.05mm，奥地利 VEW 公司为 0.03mm，俄罗斯为 0.08mm。我国一般采用 0.08 ~ 0.10mm 的箔片。根据上述理由并结合目前轧制水平，标准规定箔片厚度为 0.08mm。

（2）加热介质和加热规范

1）加热介质。一般试验以生产条件下的高温或中温盐浴作为加热介质，仲裁试验时为使每次试验的条件一致，所用加热介质应按标准中的规定专门配制。

生产条件下的高温和中温盐浴成分，每时每刻都在变化。导致箔片脱碳的盐溶成分（氧、铁的氧化物和其他金属氧化物）在含量上的不固定性，将对防脱碳质量的试验结果产生影响，使其重现性变差。但是，这种规定可使试验程序大为简化，在供需双方都能接受的情况下，作为一般检验还是可行的。

仲裁试验用盐，是按氢氧化钡加热脱水变为氧化钡后，在高温和中温熔盐中各占 0.5% 和 0.35%；氢氧化铁加热分解变为氧化铁后，在高温和中温熔盐中占 0.3% 加以规定的。在这个规定中，氧化钡含量与一般工艺要求相符，氧化铁含量与制标试验结果的平均值相符。盐熔化后再保温 2h，为的是使氢氧化钡和氢氧化铁充分分解，并让熔盐吸收大气氧，使熔盐短时内获得较强的脱碳能力。试验证明，按这种规定配制的熔盐，其脱碳能力比一般生产用盐浴强，因此专业生产厂的产品防脱碳质量等级如果是采用仲裁试验评定的，则在实际使用中可保证达到或超过出厂时的评定等级。这对确保产品质量，维护生产厂家声誉来讲，是完全必要的。

2）加热规范。在箔片材料和厚度确定的情况下，箔片脱碳率的试验结果主要与加热时间和加热温度有关。

试验研究证明，加热温度一定时，箔片脱碳率与加热时间呈线性关系，如图 7.10-5 所示。必须指出的是，当加热时间过长，碳含量已降低到低碳钢水平后，这种关系就不复存在了（见图 7.10-5b 中曲线 4）。反之，在一定加热时间内，箔片脱碳率与加热温度也呈线性关系。

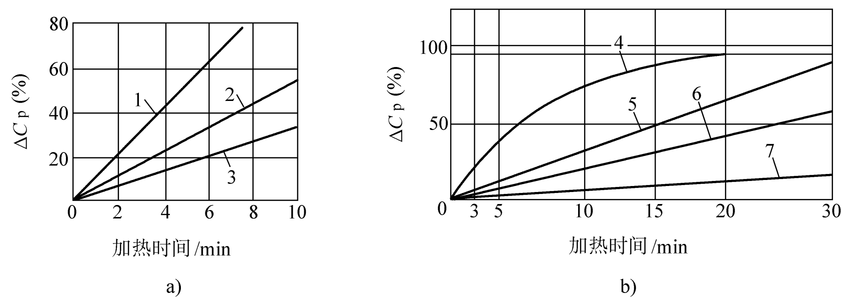


图 7. 10-5　箔片脱碳率与加热时间的关系（盐浴未经校正）

a）w(C) 为 1. 40% 箔片、厚 0. 08mm　b）w(C) 为 1. 27% 箔片、厚 0. 10mm

1—1050℃　2、5—1000℃　3、6—950℃　4—1100℃　7—870℃

另一方面，试验证明，在同一温度下，同时加热箔片和金相试样时，箔片脱碳率和金相试样的脱碳层深度有确定关系。试验结果经数学处理，删除偶然误差的影响之后，两者差不多呈线性关系，如图 7. 10-6 所示。

这些事实，为箔片法的实际应用提供了很大方便。在确定箔片加热规范时，可按实际情况选定加热温度，再确定加热时间，这样，箔片脱碳率与试样脱碳层深度的对应关系也就基本确定了。

箔片加热温度是根据盐浴常用工作温度确定的。对于中温盐浴，处理调质钢、渗碳钢、弹簧钢、轴承钢、工具钢和模具钢的工作温度，一般为 760 ~ 900℃，只有少数为 900 ~ 950℃，因此选择常用工作温度的偏上限值（850℃）作为中温盐浴的箔片加热温度是合适的。对于高温盐浴，处理模具钢和高速钢的工作温度，一般为 1000 ~ 1240℃，只有钢 W18Cr4V 的处理温度较高，按同样道理，确定 1230℃作为高温盐浴的箔片加热温度。

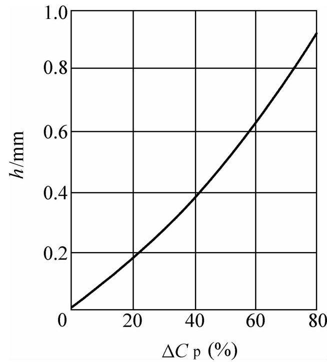


图 7. 10-6　箔片（w(C)为 1. 27%、厚 0. 1mm）脱碳率与 W18 高速钢锐角试样脱碳层深度的关系

注：试验温度 1280℃，箔片加热 1min，锐角试样加热 15min。

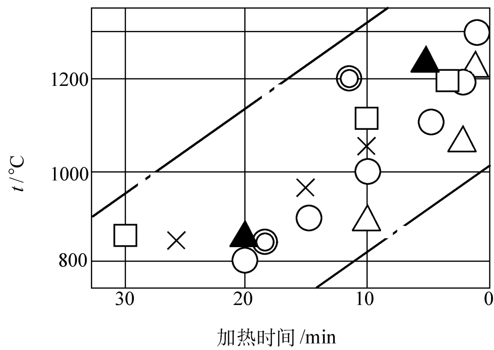


图 7. 10-7　箔片加热规范对照

▲—JB/T 4390（箔片厚 0. 08mm）

△—CCCP（箔片厚 0. 08mm）

○—HITACH（箔片厚 0. 05mm）

◎—MICROJ（箔片厚 0. 05mm）

×—Degussa（箔片厚 0. 03mm）

□—VEW（箔片厚 0. 03mm）

在上述加热温度下，试验确定的加热时间，高温盐浴为 5min，中温盐浴为 20min。在这种加热规范下，当箔片脱碳率不超过 25% 时，金相试样基本无脱碳现象。

各种标准中规定的箔片加热规范如图 7. 10-7 所示。

（3）试验中的其他规定

影响箔片脱碳率的因素很多，在箔片材料、厚度、加热介质和加热规范确定以后，还必须对其他影响因素做出规定。

1）箔片在盐浴中的位置。实际熔盐是一个复杂的多元体系，除能量分布上的微观不均匀性而存在许多微观孔隙外，它在成分分布上的不均匀性还使熔盐中各处物理和化学性质存在明显差异。

由于体系内自由能储量总是趋向于减小，所以能降低体系表面张力的成分，总是有选择地集聚于熔盐表层，这些成分是熔盐的表面活性物质。性质相反的那些成分，是熔盐的非表面活性物质，它们在熔盐内部的含量较多。在氯化钡 + 氯化钠熔盐中，氯化钠是一种表面活性成分。生产条件下的氯化钡高温盐浴，因工件将中温预热盐不断带入，实际也含有这种表面活性成分。氯化钠在高、中温盐浴表层富集以及其蒸气压较高（沸点较低）等原因，造成这种成分大量蒸发，使表层温度趋于降低。由于热量的传递补充过程总是滞后，故熔盐表层温度始终在某个范围内波动。这种现象不仅对工件加热不利，还给箔片氧化、脱碳的试验结果带来影响。

导致工件氧化，脱碳的金属氧化物如三氧化二铁和氧化钡，因熔点较高，密度较大而以固体质点状态悬浮在熔盐中，且含量随熔盐深度的增加而增高。这一点，已在不同试验中得到证实。例如，在深入高温盐浴 100mm、200mm、300mm 处，同时加热 W18 高速钢试样，其脱碳层深度分别为 0. 15mm、0. 20mm、0. 35mm。厚度为 0. 1mm 的钢 T12 箔片，浸入中温盐浴 135mm 和 390mm 处加热，上下箔片脱碳率差值为 5%；而浸入深度为 260mm 水平位置上的两个箔片的脱碳率差值为 2%。制标验证试验中，高温盐浴和中温盐浴不同深度处的箔片脱碳率最大差值为 8%，箔片失重率最大差值分别为 1. 3% 和 2%。

上述事实说明，盐浴中各处氧化、脱碳的不一致性是比较显著的，因此箔片在盐浴中的加热位置必须在标准中规定。可是，即使在同一个加热位置上，熔盐对流翻动所造成的成分变化仍使试验结果的重现性变差。仲裁试验时，坩埚中的熔盐不受电场的影响，熔盐只做缓慢对流，加之每次试验的熔盐成分一致，故标准中规定的仲裁试验的重现性比一般试验好。标准对箔片加热位置做了规定，这就在一定程度上限制了盐浴本性的不良影响。

2）校正剂和加入后试验开始的时间。任何校正剂的作用特性，可用所谓速效性和持效性来表述。可是，关于速效性和持效性的概念，迄今仍然是不够明确的。当采用硼砂对中温盐浴进行校正时，加入 0. 6% 和 5% 硼砂 1h，箔片脱碳率分别为 10% 和 0. 8%，此后箔片脱碳率以较快梯度上升。用单质硼对高温盐浴校正，加入后 2h 达到最好效果，且与 0. 2% 和 0. 7% 加入量相对应的箔片脱碳率分别为 11% 和 3. 5%，然后箔片脱碳率急剧升高。硼砂与单质硼被认为是具有速效性的校正剂，但就上述试验结果而论，谁的速效性更好呢？显然，在评价速效性时，必须对试验温度和添加量做出规定。在温度和添加量一定的情况下，速效时间（达到自身最好校正效果的时间）越短，所达到的校正水平越高的校正剂，其速效性越好。在评价校正剂的持效性时，在试验温度和添加量一定的情况下，持效时间（校正水平不低于某个规定值的持续时间）越长其持效性越好。

生产条件下，即使在一个工作班内，由于工件材料或工作负荷变动等原因，导致熔盐脱碳作用发生波动，这种情况对校正剂作用特性评价是不利的。采用新炉膛和新配熔盐，并在空载条件下试验，所需费用较大，辅助时间较长，当无须做严格评价时，最好不要轻易采用。

为尽可能简化试验程序和缩短试验周期，标准不对校正剂的速效性和持效性分别评价。根据常用校正制度。标准将高温和中温盐浴的校正剂加入量分别规定为熔盐重量的 1% 和 0. 5%，并为综合考察校正剂作用特性，规定高、中温盐浴分别在校正后 2h 和 4h 进行试验。温度的影响可通过控制加热时间来消除（见标准表 3）。标准中的仲裁试验，所需费用很低，辅助时间不长，用来评价校正剂的作用特性也十分方便。（北京机电研究所贾洪艳供稿）

三、标准内容（JB/T 4390—2008）

高、中温热处理盐浴校正剂

1　范围

本标准规定了高、中温热处理盐浴校正剂的一般要求、检验规则、试验方法、仲裁方法及包装、标志、贮存和运输。

本标准适用于热处理高温中性盐浴（工作温度 1000～1350℃）和中温盐浴（工作温度 700～1000℃）校正剂。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 223.71　钢铁及合金化学分析方法　管式炉燃烧后重量测定碳含量

GB/T 652　化学试剂　氯化钡（GB/T 652—2003，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 1266　化学试剂　氯化钠（GB/T 1266—2006，ISO 6353-2：1983，NEQ）

GB/T 1298　碳素工具钢技术条件（GB/T 1298—1986，neq ASTM A686：1979）

GB/T 8121　热处理工艺材料术语

JB/T 5073　热处理车间空气中有害物质的限值

JB/T 8419　热处理工艺分类及代号

HG/T 2629　化学试剂　八水合（氢氧化钡）

3　术语和定义

GB/T 8121 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　原始含碳量　initial carbon content

试样加热前的含碳量。

3.2　剩余含碳量　residual carbon content

试样加热后的含碳量。

3.3　脱碳率　decarburizing rate/ratio

试样原始含碳量和剩余含碳量的差值与试样原始含碳量之比的百分率。

4　校正剂分类及代号

校正剂分类及代号应符合 JB/T 8419 的规定。

5　技术要求

5.1　一般要求

盐浴校正剂应满足校正效果好、不爆炸、不结壳、熔盐清澈、流动性好、易除渣、不腐蚀和粘附工件及工件上的残盐容易清洗等要求。

使用盐浴校正剂过程中的毒物排放量，应符合 JB/T 5073 的规定。

5.2　校正剂杂质

校正剂杂质见表 1。

5.3　校正剂防脱碳质量应符合表 2 的规定。

表 1 校正剂杂质

杂质种类	质量分数(%)	杂质种类	质量分数(%)
硫酸盐(SO_4^-)	≤0.5	碳酸盐(CO_3^-)	≤0.3
总铁(Fe)	≤0.15	硝酸盐(NO_3^-)	符合检验
干燥失重	≤1.0		

注：1. 含有氯化镁和氯化铵的校正剂，其干燥失重由供需双方协议。
2. 含有硅钙的校正剂，其总铁量应不大于 1.0%。
3. 杂质含量试验方法由生产厂按产品型号分别制定。

表 2 盐浴校正剂质量分等

校正剂防脱碳质量	箔片脱碳率 ΔC_p(%)
一级品	0～25.0
二级品	25.1～45.0
三级品	45.1～65.0

注：1. 校正剂防脱碳质量分等的方法，应符合第 7 章、第 8 章的规定。
2. 箔片脱碳率（ΔC_p）的试验结果，应取到小数点后一位。

6 检验规则

——校正剂由生产厂的技术检验部门按本标准要求进行检验。

——使用单位应按本标准规定的技术要求和检验规则，检验所收到的产品是否符合本标准的要求。检验校正剂杂质的试验方法，可按生产厂提供方法进行，必要时也可按供需双方协议的方式进行。

——每批成品从 5% 的内包装中随机取样；当内包装少于 20 个时，至少由一个内包装中取样。

在同批中，如果有不同生产批号时，应根据生产批号分别取样。

将采用的试样按四分法缩分后，装入清洁干燥及磨口塞的宽口瓶中。瓶上粘贴标签并注明：产品名称、批号和取样日期，送交检验部门进行检验。

——如果检验结果有一项指标不符合标准要求，应重新自两倍量的包装中取样核验结果，即使只有一项指标不符合本标准要求时，则整批产品不能验收。

——当供需双方对产品质量发生疑议时，由仲裁单位裁定。

7 校正剂防脱碳质量的一般试验方法

7.1 试样（箔片）

7.1.1 箔片原材料规定采用厚度为 0.08mm ± 0.01mm，宽度为 30mm 的冷轧 T10 钢带。材料化学成分应符合 GB/T 1298 的规定。

7.1.2 由钢带上剪下的箔片，长度为 120mm。

7.1.3 箔片应平整、光滑，无飞边、毛刺、锈迹和油污。

7.1.4 取两片箔片，在它长度方向的一端作一个小孔，用无水乙醇专用清洗剂清洗、晾干。用铁丝穿过小孔，扎牢后绑在一个丁字勾上备用。为使箔片不至在盐浴中上浮和飘动，可在绑扎箔片的铁丝上加挂一重物。

7.2 设备和加热范围

7.2.1 试验设备为生产条件下的热处理高温中性盐浴炉或中温中性盐浴炉。

7.2.2　箔片加热范围应符合表3的规定。

表3　箔片加热范围

试验设备	温度/℃	时间/min
高温中性盐浴炉	1230±10	5
中温中性盐浴炉	850±10	20

7.3　试验步骤

7.3.1　试验前盐浴应按常规方法除渣。

7.3.2　试验的校正剂加入量：高温盐浴规定为溶盐量的1%；中温盐浴规定为溶盐量的0.5%。

7.3.3　高温盐浴，规定在用校正剂后2h进行试验。中温盐浴，规定在用校正剂后4h进行试验。

7.3.4　盐浴预先用热电偶校温，然后将准备好的箔片整个浸入盐浴通常加热工件的区域中加热，浸入深度以箔片上端在熔盐面以下约80mm为准。箔片按本标准规定的加热规范完成加热后，取出迅速淬火。小心解下箔片，先用蒸馏水洗净表面残盐，再用无水乙醇、专用清洗剂浸渍，晾干后保存于干燥器中备用。

7.4　试样分析

将同次加热的两片箔片剪碎、混匀，然后按GB/T 223.71分析其含碳量。

7.5　计算结果

箔片脱碳率ΔC_P（%）按式（1）计算：

$$\Delta C_P = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\% \qquad (1)$$

式中　C_0——箔片原始含碳量（%）；

C——箔片剩余含碳量（%）。

8　校正剂防脱碳质量的仲裁试验法

当供需双方对校正剂脱碳质量等级发生异议时，应按本法仲裁。

8.1　仲裁试验的试样

试样（箔片）应符合7.1的规定。

8.2　设备、盐浴制备和加热规范

8.2.1　设备：

加热容器用厚度约5mm的1Cr18Ni9Ti制造，其内部尺寸为ϕ120mm×340mm。

8.2.2　盐浴设备：

8.2.2.1　盐浴配方及配制重量应符合表4的规定。

表4　盐浴校正剂的配方

盐的种类	配方（质量分数,%）				配置重量/kg
	氯化钡	氯化钠	氢氧化铁	氢氧化钡	
高温盐浴用盐	99.8	—	0.4	0.7	12
中温盐浴用盐	69.1	30	0.4	0.5	10

注：氯化钡（$BaCl_2 \cdot 2H_2O$）、氯化钠（NaCl）和氢氧化钡［$Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$］的要求。应分别符合GB/T 652、GB/T 1266、HG/T 2629的规定。氢氧化铁［$Fe(OH)_3$］为化学试剂。

将配制好的盐盛入加热器内，然后将加热容器浸入高温盐浴或中温盐浴通常加热工件的区域中加热。容器浸入深度为盐浴面至容器口上缘约60mm。待容器内的盐溶化后，再分次加入配好的盐

熔完为止。

8.2.2.2　盐浴应保温 2h。高温盐浴保温温度为 1230℃ ±10℃，中温盐浴保温温度为 830（850）℃ ±10℃。

8.2.3　箔片加热规范按 7.2.2 的规定进行。

8.3　试验步骤

按 7.2.2 ~7.2.4 的规定进行。

8.4　试样分析

按 7.4 的规定进行。

8.5　计算结果

按 7.5 的规定进行。

9　包装、标志、贮存及运输

9.1　产品的密封、贮存和运输都应采用很可靠的包装方式。在符合 9.5 的前提下，使用单位在产品出厂后的一年时间内拆封核验时，应符合第 6 章的有关规定。

9.2　校正剂每个包装的净重不超过 2.5kg。应采用密封可靠的小袋内包装，每个内包装的净重应与每次用量相适应。

9.3　在每个包装内都应附有产品报告单，内容包括生产厂名称、产品名称、批号、生产日期、净重、产品符合本标准要求的证明和本标准号。

在校正剂的产品报告单上，应列上产品防脱碳品质等级，并附上产品校正制度的简要说明。

9.4　产品包装上应涂刷标志，内容包括生产厂名称、产品名称、净重、批号、生产日期、型号和商标。

9.5　产品贮存、运输时应避免雨淋、受潮和被期货物品污染。

第十一节　热处理用聚烷撑二醇（PAG）水溶性淬火介质

一、概论

聚烷撑二醇（PAG）水溶性淬火介质在国外已有 40 多年的发展历史，20 世纪 80 年代末在我国开始逐步推广。PAG 具有很高的化学稳定性，在正常生产条件下可连续使用几年而无须整槽更换；PAG 类水溶性淬火介质适用范围广，通过调整浓度可以适应不同钢种和工件的需要；PAG 类水溶性淬火介质淬火后的工件可不清洗而直接回火；PAG 水溶性淬火介质使用时无油烟、不燃烧、无火灾危险，与淬火油相比能有效改善劳动环境。由于有众多的优点，实际使用效果又好，近年来 PAG 水溶性淬火介质的应用面迅速扩大。而聚乙烯醇水溶性淬火介质由于浓度不易控制且使用周期短等缺点，已逐步被 PAG 水溶性淬火介质替代。

聚烷撑二醇水溶性淬火介质是以 PAG 聚合物为主，根据工件的热处理技术要求加上其他提供辅助性能的添加剂而制成的。水溶性淬火介质的冷却特性决定于其中 PAG 组分的特性和数量，其他辅助添加剂对水溶性淬火介质的冷却特性影响较小。

淬火过程中，工件周围液温升高，PAG 聚合物从溶液中脱溶出来，并靠其润湿性以富水的包膜形式粘附在工件表面上，从而调整工件的冷却速度。工件冷却下来后，粘附在工件表面的聚合物又会回溶到水溶性淬火介质中。回溶过程需要一定时间，而生产中往往等不到聚合物回溶彻底就将工件从水溶性淬火介质中取走。因为工件带出的液体中 PAG 含量往往高于所用水溶性淬火介质中 PAG 的平均浓度，故经过长期、大量的淬火操作后，水溶性淬火介质中 PAG 的相

对浓度必然逐渐降低。此外，粘附在工件表面的 PAG 聚合物膜大部分可以因为其中及其周围的水分被汽化而保持在不高于水沸点的温度，但紧靠工件表面的部分仍然可能升到更高的温度而发生氧化分解，导致 PAG 含量降低，其他辅助添加剂的含量随之升高。一般随着使用时间的增长，水溶性淬火介质的有效浓度逐渐降低，冷却性能也随着改变。为了保证热处理工件的质量，必须使水溶性淬火介质中聚烷撑二醇的浓度稳定在一个适当的范围内，一般水溶性淬火介质的浓度波动应控制在 1% ~2% 。

由于淬火介质的浓度对热处理工件的质量影响较大，因此各热处理生产企业比较关心和注重生产现场淬火介质的浓度控制问题，而水溶液的浓度是影响淬火介质冷却能力的主要因素，并且水溶液有效浓度的测定方法也多种多样，因此不同的生产加工企业在浓度控制方面存在一定的分歧。基于以上原因，本标准在制定过程中，曾尝试了多种不同的试验方法对水溶液有效浓度进行测定，如密度法、折光率法、运动黏度法、冷却性能法等。其中，密度法测量时误差过大；折光率法用于测量新配制的溶液时简单易行，但对于使用过的水溶性淬火介质，其测量结果与实际值偏离较大。相比之下，运动黏度法的测量结果较准确，但需要黏度测定器。综合以上因素，由生产厂家提供不同浓度的聚烷撑二醇水溶性淬火介质水溶液的运动黏度，并作出黏度-浓度标准曲线，方便生产现场浓度控制。另一种方法，由生产厂家提供折光仪相乘系数（通过测量运动黏度并结合冷却性能来校正折光仪的相乘系数），生产现场只要将折光仪读数乘上相乘系数即可。

由于在淬火冷却过程中有油污、铁锈等杂物随工件带入液体中，因此取样时要在水溶性淬火介质静止的条件下进行。必要时在测试前将试样用滤纸过滤后再进行试验。在连续生产时至少每周取样测定 1 次。根据测定结果可对水溶性淬火介质的浓度及时进行调整，以保持成分的稳定。

关于水溶性淬火介质污染可分为油类污染、不溶性固体颗粒污染和水溶性物质污染三大类。对于油类污染，只要定期捞除或把浮油吸掉，水溶性淬火介质仍可使用。对于不溶性固体颗粒的污染只要不影响水溶性淬火介质的正常搅拌和循环流动，固体颗粒不会损害水溶性淬火介质的冷却性能，但往往会增大水溶性淬火介质的折光率，使折光仪测出的浓度偏高，应将固体颗粒过滤捞除。对于水溶性物质污染，主要指水溶性盐、碱类物质，如 Nacl、NaOH 等，往往会影响水溶性淬火介质的冷却性能。水溶性淬火介质受到这类物质的污染影响到其冷却特性时，可以采用热分离法或薄膜分离法恢复。对于硝酸钠污染，一般允许的最大污染量为 12% 。但是，水基液压液和冷却剂对水溶性淬火介质的污染将严重地影响水溶性淬火介质的黏度和分离温度，导致零件的开裂。这种形式的污染难以消除，因此，水溶性淬火介质应重新更换。

二、标准应用说明

1. 标准制定的意义

关于 PAG 水溶性淬火介质目前国内尚无相应的国家标准和行业标准。市场上 PAG 水溶性淬火介质品种繁多，质量良莠不齐，为在行业内统一规范产品质量，急需制定《热处理用聚烷撑二醇水溶性淬火介质》行业标准。

本标准的制定填补了热处理冷却介质领域的空白，将为聚烷撑二醇水溶性淬火介质的生产、使用、贸易三方提供技术依据。借助于本标准，可督促生产方正确采用原材料，合理调整生产工艺，完善检测手段，为用户生产出满意度更高的产品；可促使使用方合理、高效、低耗地使用产品，保证热处理工艺质量。本标准的制定有利于提高聚烷撑二醇水溶性淬火介质的产品质量，规范热处理行业的合理竞争，同时有利于改善热处理行业加工工艺质量，实现安全环保生产，促进热处理产业结构调整与优化升级。

2. 编制原则

本标准的制定遵循“面向市场、服务行业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则。本标准具有如下特点：

（1）先进性。本标准的制定是在参考了国外品牌聚烷撑二醇（PAG）水溶性淬火介质产品的技术要求和试验检验规范的基础上，结合 PAG 水溶性淬火介质使用效果良好、适用范围大、行业应用迅速发展的现状进行的。本标准是 PAG 水溶性淬火介质标准的首次制定，技术内容全面，技术水平高，为国内先进水平。

（2）准确性。聚烷撑二醇（PAG）水溶性淬火介质的技术要求、试验方法、检验规则、贮存运输、使用、更换及排放要求等均采用或借鉴了相关行业标准、热处理冷却介质生产公司的企业标准，以及使用该淬火介质进行热处理加工生产公司的生产技术工艺文件内容。用于标准制定的资料和数据均经过生产验证，准确可靠。

（3）实用性。本标准的制定与实际生产应用联系紧密，对应良好，标准的内容对于热处理淬火介质生产厂商和热处理加工生产企业具有较大的指导意义，实用性强。

（4）编制本标准过程中，结合了我国热处理行业的现状，制定的条款能有效促进和推动我国热处理行业的发展和进步。

（5）本标准的主要技术内容依据试验结果和相关工艺技术标准而定，并严格依据相关的国家标准和国家法规。

3. 主要内容

本标准规定了以聚烷撑二醇为主要成分的聚合物水溶性淬火介质的技术要求、试验方法、检验规则以及包装、贮运、使用及排放要求等。本标准适用于钢件及铝合金淬火冷却用的聚合物水溶性淬火介质——以聚烷撑二醇（PAG）为主要成分的淬火介质。

本标准的技术内容主要包括以下几个方面：①规定了聚烷撑二醇水溶性淬火介质不同性能项目的技术要求；②给出了聚烷撑二醇水溶性淬火介质性能的试验方法；③规定了聚烷撑二醇水溶性淬火介质的检验规则；④规定了聚烷撑二醇水溶性淬火介质的包装、标志、贮存及运输的规范；⑤提出了聚烷撑二醇水溶性淬火介质的使用、更换及排放要求。

主要技术内容的确定及说明如下：

（1）技术要求。本标准主要技术内容是参照国内外有关聚合物水溶性淬火介质的资料并经多次验证而确定的，主要针对以 PAG 为主要原料配制的聚合物水溶性淬火介质而设置，技术指标的设定是根据我国生产统计资料及多次取样进行试验的结果而确定的。技术指标包括聚烷撑二醇淬火介质的外观、密度、原液运动黏度、原液折光率、倾点、浊点、pH 值、防锈性、冷却性能等项目。

上述技术指标均为聚烷撑二醇水溶性淬火介质出厂时和使用单位购入时的检验指标。而在实际应用时均需用水稀释成不同浓度的水溶液，如在有测试设备的条件下，应附有不同浓度水溶液的冷却曲线和运动黏度，以供用户参考。

关于运动黏度：PAG 水溶性淬火介质冷却速度相当时其淬火效果基本一样，但运动黏度高的工件带出损耗就大些，而运动黏度低的带出损失则小些，该指标的制定有利于用户的选择。

关于浊点：PAG 水溶性淬火介质的浊点越低，一般降低冷却速度的作用越大；但由于 PAG 水溶性淬火介质要求的最高使用温度在其浊点以下约 10°C，因此浊点越低，该种水溶性淬火介质容许使用温度范围就越窄；浊点越高，容许的使用温度范围越宽。把这两方面的作用相协调，通常宜选择浊点在 70 ~ 85°C 范围的 PAG 水溶性淬火介质品种。

关于附录 A：附录 A 为以 PAG 为主要原料配制的聚合物水溶性淬火介质的使用说明。对水溶性淬火介质的浓度、温度及搅拌控制、防锈、防腐、维护和排放等问题做了说明。标准附录 A 中

测定了典型 PAG 水溶液淬火介质产品不同浓度及不同温度下的冷却性能，并归纳出了典型数据用户参考。

（2）性能的试验方法。聚烷撑二醇水溶性淬火介质的性能按 JB/T 4392 中规定的方法测试。

（3）检验规则。本标准中规定的出厂检验项目为折光率、运动黏度和冷却性能等。

按 GB/T 6680 的规定采样。在存放过程中采样时，将一根内径为 ϕ10～ϕ14mm、两端开口的洁净玻璃管缓慢插入容器中部，然后将玻璃管上端堵住，将管内液体移至一清洁的样品瓶内。取样总量不少于 2000mL。充分混匀后，分装于两个具备密封盖的玻璃瓶中，一瓶用于检验，一瓶保存 1 年备查。

热处理用聚烷撑二醇淬火介质应由生产厂的质量监督检验部门按照本标准的规定进行检验，生产厂应保证所有出厂的热处理用聚烷撑二醇淬火介质都符合本标准的技术要求。

检验项目中，如有不合格项目，应在同批产品中加倍抽样对不合格项目进行复验，复验结果仍有不合格，则该批产品为不合格批，并不得交付和验收。

采用 GB/T 8170 规定的修约值比较法判定检验结果是否符合标准。

（4）包装、标志、贮存和运输。包装用 200L 铁桶或塑料桶，也可根据需方要求采用其他包装。包装上应标明产品名称、商标、执行标准号、批号、生产日期、净含量和生产商信息等。

贮存及运输时应有防晒、防热、防潮、防冻、防渗漏等保护措施，存放于干燥阴凉处，存放温度为 0～35°C。

产品保存期在符合本标准包装、运输和贮存的条件下，自生产之日起在未启封状态下保存期为 12 个月。逾期应重新检验是否符合本标准要求。

（5）使用、更换及排放要求。在使用过程中应避免带入切削液（油）、盐和碱等污染物。对淬火介质温度、搅拌应进行严格控制及配备沉淀、过滤装置。在保持淬火介质清净、无变质腐化的情况下，各热处理生产现场可根据具体生产情况考虑进行更换。

更换新淬火介质时，必须考虑旧液排放时的污染问题。经处理达到 GB 8978 污水综合排放标准方可直接排放。（南京科润工业介质股份有限公司聂晓霖供稿）

三、标准内容（JB/T 待批）

热处理用聚烷撑二醇（PAG）水溶性淬火介质

1　范围

本标准规定了以聚烷撑二醇为主要成分的聚合物水溶性淬火介质的技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志、储存、运输、使用、更换及排放要求等。

本标准适用于钢件、铝合金及铸铁件淬火冷却用的以聚烷撑二醇为主要成分的水溶性淬火介质。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 265　石油产品运动黏度测定法和动力黏度计算法

GB/T 1884　原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）

GB/T 3535—2006　石油产品倾点测定法

GB 3838　地表水环境质量标准

GB/T 6488—2008　液体化工产品　折光率的测定（20°C）

GB/T 6680　液体化工产品采样通则

GB/T 6986　石油浊点测定法

GB/T 8121　热处理工艺材料　术语

GB/T 8170　数值修约与极限数值的表示和判定

GB 8978　污水综合排放标准

GB/T 9724　化学试剂　pH 值测定通则

GB/T 30823　测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头试验方法

JB/T 4392　聚合物水溶性淬火介质性能测定方法

JB/T 9189　水基材料防锈试验方法　铸铁粉末法

3　术语和定义

GB/T 8121 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　聚烷撑二醇　polyalkylene glycol（PAG）

聚烷撑二醇简称 PAG 聚合物，其分子式为 $HO[(CH_2)_nO]_nH$。该物质是由环氧乙烷和环氧丙烷通过阴离子开环聚合而成，为环氧乙烷环氧丙烷嵌段共聚物。

3.2　浊点　cloud point

聚烷撑二醇在水溶液中的溶解度随温度上升而降低，升至一定温度时开始析出聚烷撑二醇，溶液出现浑浊，该温度点称为浊点。

4　技术要求

聚烷撑二醇水溶性淬火介质的各项性能应符合表 1 技术要求。

表 1　聚烷撑二醇水溶性淬火介质的技术要求

项　　目	性 能 要 求	试 验 方 法
外观（室温）	淡黄透明或半透明黏稠液体	—
气味	无刺激性气味	—
密度（20°C）/（g/cm^3）	1.05～1.15	GB/T 1884
原液运动黏度（40°C）/（mm^2/s）	200～700	GB/T 265
倾点/°C	≤－9	GB/T 3535—2006
浊点（质量分数为 1% 水溶液）/°C	70～85	GB/T 6986
pH 值（质量分数为 5% 水溶液）	8～11	GB/T 9724
防锈性（质量分数为 5% 水溶液）	≤1 级	JB/T 9189
冷却性能	见附录 A	参照 GB/T 30823

5　试验方法

聚烷撑二醇水溶性淬火介质性能测试参照表 1 试验方法进行。

6　检验及评定

6.1　聚烷撑二醇水溶性淬火介质出厂检验时，折光率、运动黏度和冷却性能为必检项；若生产工艺或主要原材料发生更改时，应按表 1 中的技术要求全部进行检测。

6.2　按 GB/T 6680 的规定采样。在存放过程中采样时，将一根内径为 $\phi10$～$\phi14$mm、两端开口的洁净玻璃管缓慢插入容器中部，然后将玻璃管上端堵住，将管内液体移至一清洁的样品瓶内。取样总量不少于 2000mL。充分混匀后，分装于两个具备密封盖的玻璃瓶中，一瓶用于检验，一瓶保存 1 年备查。

6.3　热处理用聚烷撑二醇水溶性淬火介质应由生产厂的质量监督检验部门按照本标准的规定进行检验，生产厂应保证所有出厂的聚烷撑二醇水溶性淬火介质都应符合表 1 中技术要求。

6.4　检验项目中，如有不合格项目，应在同批产品中加倍抽样对不合格项目进行复验，复验结果仍不合格，则该批产品为不合格批。

6.5　采用 GB/T 8170 规定的修约值比较法判定检验结果是否符合标准。

7　包装、标志、贮存和运输

7.1　包装、标志

7.1.1　淬火介质的包装采用 200L 铁桶或塑料桶，也可根据需方要求采用其他包装。

7.1.2　包装上应标明产品名称、商标、执行标准号、批号、生产日期、净含量和生产商信息等。

7.2　贮存及运输

贮存及运输时应有防晒、防热、防潮、防冻、防渗漏等保护措施，存放于干燥阴凉处，最佳存放温度 0 ~ 40°C。

7.3　保存期

产品在符合包装、运输和贮存的条件下，自生产之日起在未启封状态下保存期为 12 个月。逾期应重新检验是否符合本标准要求。

8　使用维护、更换及排放要求

8.1　淬火介质的使用维护

正常使用条件下，应该定期（三个月或半年）测量淬火介质的运动黏度和冷却性能，用于校正折光仪在计算浓度时的折光系数。

在浓度控制过程中，应将淬火介质的浓度波动范围控制在 1% ~ 2% 之内，生产现场的淬火介质应加以防护，避免带入油类、盐和碱等污染物。

淬火介质的其他使用维护方法详见附录 A。

8.2　淬火介质的更换及排放要求

淬火介质的更换及排放要求详见附录 A。

附　录　A

（资料性附录）

热处理用聚烷撑二醇水溶性淬火介质使用说明

A.1　热处理用聚烷撑二醇水溶性淬火介质冷却性能

表 A.1 为一种典型的聚烷撑二醇水溶性淬火介质冷却性能。该淬火介质在 30°C 静止状态下不同浓度的冷却曲线对比如图 A.1 所示。

表 A.1　一种典型聚烷撑二醇水溶性淬火介质的冷却性能

浓　度	冷却性能	数　值	参照试验方法
5% 水溶液（质量分数）30°C，无搅拌	最大冷速/（°C/s）	170 ~ 200	GB/T 30823
	最大冷速对应的温度/°C	≥600	
	$v_{300°C}$/（°C/s）	60 ~ 85	
10% 水溶液（质量分数）30°C，无搅拌	最大冷速/（°C/s）	150 ~ 180	
	最大冷速对应的温度/°C	≥650	
	$v_{300°C}$/（°C/s）	50 ~ 70	
15% 水溶液（质量分数）30°C，无搅拌	最大冷速/（°C/s）	130 ~ 170	
	最大冷速对应的温度/°C	≥650	
	$v_{300°C}$/（°C/s）	25 ~ 60	

（续）

浓　　度	冷 却 性 能	数　　值	参照试验方法
20% 水溶液（质量分数）30°C，无搅拌	最大冷速/(°C/s)	110～150	GB/T 30823
	最大冷速对应的温度/°C	≥650	
	$v_{300°C}$/(°C/s)	20～45	
30% 水溶液（质量分数）30°C，无搅拌	最大冷速/(°C/s)	80～110	
	最大冷速对应的温度/°C	≥550	
	$v_{300°C}$/(°C/s)	10～30	

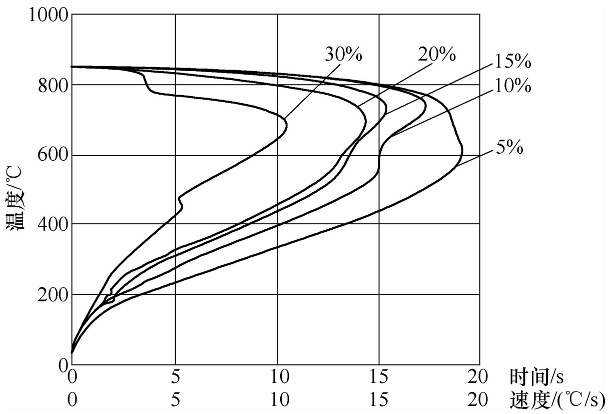


图 A.1　一种典型的聚烷撑二醇水溶性淬火介质在 30°C 静止状态下不同浓度溶液的冷却曲线对比（参考曲线）

A.2　热处理用聚烷撑二醇水溶性淬火介质的适用范围

A.2.1　主要适用于钢件（或铝合金）表面淬火的喷射冷却或浸入冷却，避免用于盐浴炉加热的淬火冷却（由于淬火工件带入大量无机盐，会影响聚烷撑二醇水溶性淬火介质的冷却性能）。

A.2.2　在选择介质类型和浓度时，可根据工件的几何形状、尺寸大小、技术要求及设备工况等，并结合淬火介质在不同浓度和温度下的冷却性能综合考虑，或根据试验来确定。表 A.2 中推荐了部分适合采用聚烷撑二醇水溶性介质进行淬火的材料及零件。

表 A.2　用聚烷撑二醇水溶性介质淬火的材料及零件

部分适用材料及零件(典型)	热处理方法	淬火介质浓度（质量分数）	推荐使用温度/°C	适用炉型
15、20、35、45、40Cr、35CrMo、40MnB 钢等（大中尺寸，中低淬透性：紧固件、轴件、锻件、齿轮等产品。）	整体淬火、感应淬火、渗碳淬火等	3～10	10～45	网带炉、铸链炉、推杆炉、滚筒炉、井式炉、转底炉、感应加热炉
42CrMo、50CrV、60Si2Mn、65Mn、GCr15、20CrMnTi、20CrMo、40CrMnMo 钢等（中小尺寸，中高淬透性）	整体淬火、渗碳、碳氮共渗淬火、感应淬火等	8～20	10～45	
能够固溶时效强化的铝合金，如 2×××、6×××、7×××等	固溶时效处理	10～35	10～55	铝合金固溶炉

A.3 热处理用聚烷撑二醇水溶性介质工作液的配制

热处理用聚烷撑二醇水溶性介质供应状态为浓缩液，使用时要加水稀释成不同浓度的水溶液。淬火介质水溶液一般按质量浓度配制。将一定量的淬火介质原液缓慢倒入一定量的水中，搅拌使其充分溶解于水中。

配制淬火介质水溶液的所用水，不应含有显著影响淬火介质冷却特性的物质，需满足 GB 3838 中规定的Ⅰ～Ⅳ类地表水环境质量基本标准。

A.4 聚烷撑二醇水溶性淬火介质浓度的控制

A.4.1 由于炽热的工件不断与淬火介质接触，淬火介质中聚烷撑二醇的含量也随着发生变化，一般随着使用时间的延长，淬火介质的有效浓度逐渐改变，冷却性能也随之改变。

A.4.2 生产现场可以使用便携式手持折光仪及黏度仪来判定淬火介质的浓度。

A.4.3 在连续生产时至少每天取样测定一次，根据测定结果及时调整介质溶液的浓度，以保持浓度的稳定。

A.5 聚烷撑二醇水溶性淬火介质温度的控制

A.5.1 淬火介质温度变化时其冷却性能有明显的改变，如液温增高、冷却速度减慢。当液温高于55℃时，冷却速率大幅度降低，往往会出现不完全淬火及硬度偏低的现象。因此一般情况下，淬火介质的使用温度不应超过55℃。

A.5.2 为了控制淬火介质的温度，应在淬火槽外设置冷却器、加热器以及循环装置，也可在淬火槽中放置蛇形管供加热或冷却用。避免采用表面接触电加热器或烧红的铁块等进行加热，以防止槽中聚烷撑二醇大量烧损和分解。

A.6 聚烷撑二醇水溶性淬火介质的消泡、防腐和防锈性

A.6.1 聚烷撑二醇淬火介质的消泡

A.6.1.1 在使用过程中，由于淬火介质的喷淋、循环、搅动、回流等容易产生大量泡沫，严重时会造成淬火冷却不均匀，影响工件的淬火质量。因此在生产中应采用技术规格适宜的循环泵，扬程不宜过高，不应超过30m。采用螺旋桨搅拌时，转速应控制在450r/min以下。

A.6.1.2 如果需要进一步消除泡沫时，可加入少量的消泡剂，直接滴入淬火槽中。

A.6.2 聚烷撑二醇淬火介质的防腐

A.6.2.1 当淬火介质的pH值过低，在静止条件下遇微生物易繁殖，会逐渐产生臭味，颜色变黑，以致失效。使用过程中，应避免灰尘、油污、杂物等掉入槽液中。淬火介质长期不用时，应做到每天搅动或循环一次，以延长淬火介质使用寿命。

A.6.2.2 如因气温过高欲进一步提高防腐效果时，可向槽中加入少量防腐剂。

A.6.3 淬火介质的防锈性

淬火介质含有一定量的防锈剂，但在特定工况下，仍能出现工件生锈现象，可通过添加少量的防锈剂，使其防锈性能在一定程度上得到改善。

A.7 淬火介质的再生

淬火介质受到外界污染，影响冷却性能且需要恢复时，可以使用加热分离法，步骤如下：

a）淬火介质在加热的同时进行搅拌，使其温度≥85°C；

b）停止搅动和加热，静止不低于30min；

c）用泵抽掉上层含污染物的水（也可使用倒吸管）；

d）下层分离的聚烷撑二醇有效成分可重新投入使用。所需配比的浓度应根据折光仪、黏度仪及冷却特性测试仪检测结果确定，以满足生产所需冷却性能。为保证其使用性能要求，应根据现场情况补充加入防锈剂、防腐剂及消泡剂。

A.8 更换及排放要求

在正常使用维护的情况下，各热处理生产现场可根据具体生产情况考虑更换。供参考的更换条件有：

a）淬火介质含有大量杂质，冷却性能异常且无法通过补充原液恢复；

b）淬火介质中混入油脂类产品，严重乳化导致冷却性能异常；

c）淬火介质中聚烷撑二醇大分子链大量断裂，有效物质含量极低，冷却性能异常；

d）与浓度相对应的 pH 值过低，通过调整不能有效改善；

e）由于污染或长期静置，滋生大量微生物，最终不能有效改善并导致冷却性能异常；

f）更换新淬火介质时，应考虑旧液排放时的污染问题。经处理符合 GB 8978 要求方可直接排放。

第八章　节能环保与安全生产标准

第一节　热处理合理用电导则

一、概论

热处理是决定机械产品质量的重要工序。通过热处理可以使材料和机器零件获得高强度、高韧性、高硬度、高耐磨性、高疲劳抗力及高耐蚀性，从而显著延长其使用寿命。

我国的热处理大多用电，在机械行业中属耗电大户，素有“电老虎”之称。因此，热处理行业的合理、节约用电具有很大潜力，国家技术监督局早在1988年就颁布了GB 10201《热处理合理用电导则》。

在GB 10201中提出了对热处理合理用电的基本要求，包括对电源质量、网线损失、电路平衡、变压器设备、功率因数等提出了一系列限定，列举了电热设备上应优先采用的各种节能技术，提出了对主要电热设备的具体要求，具体规定了在常用电热设备上施行多种热处理工艺的电耗定额，还对设备的科学管理提出了多项措施。该标准在工业生产中发挥了应有的作用。

在最近20多年，热处理生产技术有了长足进步。热处理节能技术也发展迅速，此间国家和行业又制定和发布了GB/T 17358《热处理生产电耗计算和测定方法》、GB/Z 18718《热处理节能技术导则》和GB 15735、JB 8434等安全卫生和环境保护一系列标准。国家又提出建立科学发展观战略思想和经济建设中的节能减排要求。因此，2008年对GB 10201进行了修订，并明确界定各有关电热设备合理、节约用电标准之间的关系。

新修订标准列有7章35款。包括技术要求和适用范围、引用文件、术语定义、基本要求、设备要求、工艺能耗和管理措施。在修订标准条文中尽可能做到规定具体和量化，力求实用。新修订标准能够满足新形势下大量涌现的专业热处理企业要求，帮助他们实现合理、节约、安全用电，保证产品质量，降低生产成本。

二、标准应用说明

（1）标准中的术语符合GB/T 7232和GB/T 13324的热处理工艺和设备术语的名称和定义，所涉及的热处理工艺符合GB/T 12603金属热处理工艺分类和代号的规定。

（2）本标准补充了上列术语标准中未到的空炉损耗功率比、有效加热区温度均匀性、热处理件质量分散度、清洁热处理和无害化处理等在随后条文中出现的词条和解释。

（3）在热处理用电基本要求一章中提出了供电要求。我国的热处理能源现状是90%以上设备用电。用电干净、易控，100%转变为热能（1kW·h = 3601kJ），电阻炉加热能轻易达到60%的热效率，但计入热电站的发电效率（平均约为35%），热处理用电阻炉加热的综合热效率只能达到21%～25%。而用天然气、轻油、重油作为炉子燃料，利用预热空气，控制燃烧系数（$\alpha=1.1\sim1.2$）等措施可以轻而易举地使综合效率达到60%以上，可见燃烧炉的加热成本比用电低得多，故美国的热处理能源燃烧炉曾占到40%，日本占到60%。由于水电和核电的成本比热电低，如果各地区电价差别较大，用电也是一种上乘选择。因此，热处理能源的选择应用时、因地、因行业制宜。

（4）热处理加热设备要求电源电压有一定稳定程度，不能超过额定电压的 ±5%，其目的是容易控制温度。因此，大设备使用单独变压器也有利。

（5）提高设备电功率因数是提高有功电量、降低电耗、减少用电成本、合理用电的重要内容。标准规定的电热设备功率因数应大于 0.9。

（6）对电热设备提出了高效、节电等 13 项综合要求，是企业优选设备、得到合理用电效果的重要依据。

（7）尽量采用 GB/T 18718 建议的各项节能措施，可使电热设备的能源利用率达到 50% 或更高。

（8）使用电热设备的生产应符合 JB 8434 的环保要求。对生态友好的首要措施是预防，其次才是产生污染物的防治处理。为此采用清洁工艺是首要选择。

（9）使用电热设备的生产应保证产品质量的一致性和稳定性。为此使同一炉放在不同部位处理的零件具有最小的质量分散度的首要条件是保证有效加热区内的温度均匀性。

（10）保持电热设备高热效率的先决条件是最小的热损失。空炉损耗功率比越小，说明炉子补偿散热损耗维持热平衡（保持温度）所需的电能越少。标准中表 1 罗列了各种电热设备的最大空炉损耗功率比。

（11）对感应加热电源，特别是工频和高频电源的功率因数也提出了不低于 0.9 的要求，低频电源必须采取电容补偿法的提高感应电回路的功率因数。对变频的效率也提出了大于 90% 的要求。

（12）感应加热电源一般功率较大，部分电频率在射频范围内，强大的射频辐射会干扰无线电广播、电视通信，故必须放在有金属网屏蔽的单独房间内，向外泄漏的辐射也应符合 GB 4824 规定。

（13）电热设备的工艺电耗定额在 GB/T 18718 中已有明确规定。该定额是按照日本工业炉协会的调查结果，参考其工艺试验数据确定的。为应对中东战争造成的能源危机，日本又是能源资源十分缺乏，特别依赖进口的国家，日本工业炉协会在 20 世纪 70 年代末成立了“电阻炉节能委员会”，通过实际调查与分析，于 1978 年 10 月提出了“电阻炉热效率实况和提高热效率对策”的报告。该报告所列的数据是从三菱重工、日立制作所、日产汽车等大企业和一些专营热处理加工的中小企业的热处理电阻炉 100 炉次的各种工艺试验中获得的。其单位电能消耗和平均热效率见表 8.1-1。表中所列数据是我国热处理企业需要努力才能达到的。

表 8.1-1　各种热处理工艺实测的平均单位电能消耗和平均热效率

工艺种类	平均热效率(%)	单位电能消耗/(kW·h/t)	测试炉数	工艺种类	平均热效率(%)	单位电能消耗/(kW·h/t)	测试炉数
渗碳	24.7	936	6	退火	46.9	356	4
渗碳淬火（薄层）	52.6	345	31	光亮回火	64.9	158	1
				回火	61.1	157	14
碳氮共渗	35.0	418	1	球化退火	52.2	233	2
光亮淬火	48.7	367	11	渗氮	25.4	391	3
淬火	64.2	255	21	时效	14.4	171	1
正火	78.4	200	4	固溶处理	79.4	167	1

（14）感应淬火的工艺电耗应按透热深度有所区别，修订标准沿用了上一版标准中的数据。

（15）科学健全的管理在合理用电措施中是很重要的，只有在好的管理体制下，技术措施才能

充分发挥作用。本标准把热处理生产的节能减排管理列为单独一章，并详细阐述了各项必要的管理方面。（北京机电研究所樊东黎供稿）

三、标准内容（GB/T 10201—2008）

热处理合理用电导则

1　范围

本标准规定了热处理生产合理用电事项。

本标准适用于专业热处理加工厂和机械、冶金等企业的热处理分厂、车间、工段和生产线上的以电为能源的热处理设备。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 156　标准电压

GB 4824　工业、科学和医疗（ISM）射频设备电磁骚扰特性限值和测量方法

GB/T 5623　产品电耗定额制定和管理导则

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 9452　热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.4　电热设备的试验方法　第4部分：间接电阻炉

GB/T 10067.1　电热装置基本技术条件　第1部分：通用部分

GB/T 10067.4　电热装置基本技术条件　第4部分：间接电阻炉

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13324　热处理设备术语

GB/T 15318　工业热处理电炉节能监测方法

GB 15735　金属热处理生产过程安全卫生要求

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

GB/Z 18718　热处理节能技术导则

JB/T 5701　辊底式热处理炉能耗分等

JB/T 5704　罩式热处理炉能耗分等

JB 8434　热处理环境保护技术要求

JB/T 9052　热处理盐浴有害固体废物污染管理的一般规定

JB/T 10175　热处理质量控制要求

JB/T 50162　热处理箱式、台车式电阻炉能耗分等

JB/T 50163　热处理井式电阻炉能耗分等

JB/T 50164　热处理电热浴炉能耗分等

JB/T 50182　箱式多用热处理炉能耗分等

JB/T 50183　传送式、震底式、推送式、滚筒式热处理连续电阻炉能耗分等

3　术语和定义

GB/T 156、GB/T 7232、GB/T 12603、GB/T 13324、GB/T 17358、GB/Z 18718 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　空炉损耗功率比　power ratio of no load power loss

R

空炉损耗功率（P_0）与额定功率（P_C）的百分比，即：

$$R = P_0 / P_C \times 100\%$$

3.2　炉温均匀性　furnace temperature uniformity

在试验温度下，于热稳定状态时的炉子有效加热区内的温度均匀性。通常指在热态空炉时，规定测温点上最高和最低温度与设定温度的差。

3.3　热效率　thermal efficiency

加热设备在一定温度下满负荷工作时，加热工件所需要的有效热量与总耗热量的百分比。

3.4　清洁热处理工艺　pollution-free heat treating processes

在生产中基本不产生对环境有害剩余物料的热处理工艺。

3.5　无害化处理　detoxication treatment

生产中如不可避免地产生有害剩余物料（液体、烟尘、废渣）时，须将其中和或经其他化学处理，使其达到 GB 15735 和 JB 8434 规定的排放标准。

4　热处理用电基本要求

4.1　合理选择供电方式和电压等级，电压等级应符合 GB/T 156 的规定。

4.2　对电容量在 1000kV · A 以上的热处理厂和车间以及 500kW 以上的热处理设备，建议单独设置电力变压器，应优先选用高效节能变压器，合理选择变压器容量、台数，做到经济运行。

4.3　热处理设备电源电压允许偏移值，不应超过额定电压的 ±5%；电源三相电压应平衡；电源频率的变化不应超过 ±2%。

4.4　15kW 以上设备必须接三相电源，15kW 以下设备允许单相，但必须使全厂或全车间三相电源平衡。

4.5　应尽量减少设备电源接线长度，合理选择短网经济电流，保证线路电压损失小于 5%。

4.6　合理配置无功功率补偿装置，使全厂、全车间功率因数大于 0.9。

5　热处理设备基本要求

5.1　对热处理电加热设备的总体要求是：高效、节电、控制精度高，产品品质波动小，运行可靠，安全卫生、无害排放、性价比高，各种电加热装置应符合 GB/T 10067.1、GB/T 10067.4 规定。

5.2　加热设备应优先选用比热容小、热导率低的轻质耐火保温材料，减少炉体蓄热；合理设计炉子结构，减少散热面积。

5.3　加热设备应优先选配高效节能变压器，优先选用高效长寿的加热元件和耐用耐热构件，注重性价比；合理设计工装夹具，优先选用精密铸件，减轻工装重量，增加工件装炉量，提高热效率。

5.4　热处理电加热设备应采取 GB/Z 18718 规定的各项节能措施，使电阻炉热效率普遍提高到 50% 以上。

5.5　加热设备应满足 JB/T 10175、GB/T 9452 规定的加热炉有效加热区控温精度要求，并按有效加热区测定方法定期测定炉温均匀性。

5.6　热处理加热设备应采用清洁热处理工艺和保证剩余物料的无害化处理后排放。

5.7　电加热设备应符合 GB 15735 规定的安全卫生要求。

5.8　电加热设备应满足 JB 8434 规定的环保要求。

5.9　对成套热处理设备和单台容量 30kW 以上设备，建议单独配置计量用电度表。

5.10　感应加热电源变频装置的功率因数不得小于 0.9，变频装置效率应大于 90%，建议优先选用晶体管感应加热变频电源，以提高加热有功效率。

5.11　在射频范围工作的感应电源应安装在由金属网全屏蔽的空间内，其对外电磁辐射应符合 GB 4824 的规定。

5.12　热处理电阻加热炉、电极盐浴炉的空炉损耗功率比（其测量和计算方式按 GB/T 10066.4 规定）应符合表 1 规定。

表 1　电阻炉、电极盐浴炉空炉损耗功率比

炉　　型	额定功率/kW	空炉损耗功率比(%)	
		一等	二等
箱式炉	≤15	≤32	≤36
	15~75	≤30	≤35
	≥75	≤27	≤33
台车式炉	≥65	≤18	≤23
井式炉	≤25	≤27	≤33
	25~50	≤22	≤27
	≥50	≤18	≤23
盐浴炉	≥20	—	≤40
密封箱式多用炉、底装料立式多用炉	≥90	≤27	≤33
网带式炉	≥60	≤35	≤40
推杆式炉	≥120	≤35	≤40
真空炉	≥40	≤25	≤30

5.13　热处理电加热设备表面温升应符合 GB/T 15318 的规定。

6　电加热设备热处理工艺能耗定额

6.1　热处理电加热设备应按 GB/Z 18718 选择温度低、时间短、被处理件品质有保证的节能工艺。

6.2　热处理电热设备的工艺能耗定额及其计算测定方法按 GB/T 17358 执行。

6.3　感应淬火的电耗定额按表 2 规定。

表 2　感应淬火电耗定额

透热深度/mm	≤1	>1~2	>2~4	>4~8	>8~16	>16
电耗定额/(kW·h/m^2)	≤3	≤5	≤10	≤22	≤50	≤60

7　热处理电热设备的节能减排管理

7.1　应合理选择热处理电加热设备，在足够批量前提下，应尽可能选用连续式（推杆式、网带式、震底式、辊底式、转底式）热处理炉。

7.2　热处理单位应尽可能安排集中连续生产，对多品种小批量工件应采用小容量热处理设备生产或委托专业热处理厂加工。

7.3　对在同一供电线路上有多台大功率电加热设备，建议配备错峰用电计算机自动管理系统或实行错峰用电管理制度，以控制最大用电负荷。

7.4　热处理生产单位应制定本单位具体设备的电耗定额，坚持实行设备电耗测量、统计和分析，实现电能利用最优化的统计过程控制和管理。

7.5　力求实现热处理过程热能和工艺材料的循环利用，坚决实行油烟、粉尘、废渣、废液的无害化处理后排放。盐浴有害固体废物的处理应符合 JB/T 9052 的规定。

7.6　各种热处理炉的能耗分等应符合 GB/T 5623、JB/T 5701、JB/T 5704、JB/T 50162、JB/T 50163、JB/T 50164、JB/T 50182、JB/T 50183 的规定。

7.7 热处理炉需要定期检测炉温均匀性、空炉损耗功率和表面温升等参数，不符合有关规定的应进行维护和技术改造。

7.8 实行热处理厂、车间、工段电能专人管理责任制，建立合理奖惩制度，并严格执行。

第二节 热处理电炉节能监测

一、概论

机械工业在为国民经济做出重大贡献的同时，也是耗能耗材的大户。而热处理行业又是其中的用电大户，号称电老虎，占机械制造业用电量的20%～30%，我国机械制造厂热处理用电费用约占生产成本的40%。鉴于我国的能源资源有限，而热处理行业又是能耗大户，故节约用电是热处理行业的头等大事，同时节能也是国家战略性的长期能源政策。我国热处理行业能耗巨大，单位能耗一般在700kW·h/t以上，而工业发达国家如美国、日本都在400kW·h/t以下，二者相差悬殊。故制定合适的热处理行业相关标准，促进企业节能减排显得尤为迫切。

GB/T 15318—2010《热处理电炉节能监测》是在GB/T 15318—1994《工业热处理电炉节能监测方法》的基础上修订而成的。

本标准根据各企业的发展需求和实际生产的需要，明确了热处理电炉节能监测的监测内容、监测方法和考核指标。

二、标准应用说明

1. 主要内容

在标准修订过程中，统一考虑热处理行业相关能耗、监测等标准的统一性，尽可能将有关的术语一致、系数一致、指标一致，使热处理工艺及其设备在节能方面的标准初步形成体系，以利于今后的检测和研发，推动热处理行业技术进步。

在原标准（GB/T 15318—1994）中，对热处理电炉的能耗提出了两项判定内容，即产品可比用电单耗和炉体外表面的温升。用比较准确的判定方式对电炉的节能监测做出明确的规定，这对热处理电炉的降耗与更新换代起到了一定推动作用，对热处理产品的单位能耗的规定，促使有关企业不断采用新技术，从工艺上尽可能降低电耗，同时选择更节能的热处理设备，加快了热处理电炉的技术进步。虽然单纯从电炉炉体外表面的温升只能考核该设备的保温性能，但也在合理设计炉衬，选用新型节能炉衬材料（如硅酸铝纤维）等方面起到了很大作用。由于热处理产品用电单耗和热处理工艺密切相关，原标准确定的工艺折算系数尚有不足之处，但总体上还是有了明确的能耗标准，对达不到标准的热处理电炉判定、处理和建议都极大地推动了热处理行业的节能工作的进展。随着热处理技术的不断发展，尤其是近十余年新型热处理设备不断推出，原标准的内容与判定指标已明显落后于热处理技术的进步，有必要进行修订与补充。

本次修订对原标准有较大改动：

（1）从原标准适用范围和功率限制来看，主要是区别于“实验室热处理电炉”而制定的该标准。而现今使用的实验室热处理电炉份额相当大，在各种零件热处理过程中，耗电数额极其可观。所以热处理电炉节能监测如不包括这类炉型，便十分欠缺。因此，更改原标准名称，删除“工业”二字，由《工业热处理电炉节能监测方法》改为《热处理电炉节能监测方法》。

（2）在“5.4产品可比用电节耗的测试”中，对于折算系数重新进行了规范。原折算系数K_1取消，主要是考虑零件的质量本身对热处理工艺来说只是影响装炉总量，而且工件的实际情况千差

万别，从质量大小上来折算既无意义，也不可行。原来 K_1 在质量上的区别也与实际处理工件相差甚远。原折算系数 K_2 由原工件类别改为材质折算，一方面考虑热处理能耗方面相关标准的统一，更重要的是从工件类别上区分太复杂，一个简单的列表很难全面包括，而从材质上区分比较科学合理。热处理工艺主要是由材质决定的，原折算系数 K_3 温度折算系数取消，因为加热温度主要是工艺决定的，已经有了工艺折算系数，比原表 4 规定的更细致、全面，而且和最近修订的 GB/T 17358 一致，与实际情况更接近。

（3）在原标准的基础上增加了“5.7 空炉升温时间的测定”和“5.8 空炉损耗功率比的测定”。这两个考核监测内容都和电炉的能耗有直接的联系，升温时间表明了能耗水平。尽管加大功率可减少升温时间，但功率增加使空炉损耗功率增加，同时对使用的企业在执行热处理工艺生产过程中，能耗则更高，显然单纯为减少升温时间而采取加大功率的方法是不可取的。当然也要防止热处理电炉的生产企业采用这一方法。在同等功率下，升温时间则可比较明确地判断电炉的能耗水平了。考虑到炉体外表面温升水平，也在一定程度上反映了升温时间的多少。但升温时间毕竟不是表面温升一个因素决定的，作为一个独立的判定要求，在标准中规定电炉升温时间，不仅较全面反映了电炉能耗水平，也单独作为考核要求，对推动电炉设计、制造等技术进步还是必要的。其中要说明的是，标准中表 5 空炉升温时间只是对工作容积做了一般性规定，由于目前热处理技术的进步，大型工件的热处理越来越多，相应要求热处理设备的工作容积也越来越大，因此对不在标准中表 6 所列的容积范围内，空炉升温时间可在企业产品标准中规定，或由供需双方商定。

在增加了空炉升温时间的内容后，其测定方法在 GB/T 10066.4 中已有明确规定，只要借用过来即可。在 GB/T 10066.4 中，空炉升温时间也是作为对电炉产品的考核内容之一，其考核指标则是参考了相关电炉的能耗标准中对优等电炉要求确定的。

（4）空炉损耗功率比这次也是作为节能监测的判定内容之一，同样也是考虑全面综合考核电炉产品的能耗水平而增加的。在 GB/T 10066.4 中，对此项检测方法也有明确的规定，同时在 GB/T 10201 中，对该项指标也做出了明确要求。为了使热处理电炉在标准方面系统统一，就直接采用了这一指标作为判定依据，并且做了适当补充，增加了连续式热处理炉和真空炉的空炉损耗功率的内容。

（5）为了降低热处理工艺能耗水平及考虑到近几年来的技术进步，将原标准 6.1 的规定 $b_k \leqslant 0.600$kW·h/kg 改为对于常规周期式箱式炉 $b_k \leqslant 0.550$kW·h/kg，进一步提高要求，有利于节能降耗。同时，这一改动也符合我国目前的能耗水平。这一改动，虽然只是提高了 0.050kW·h/kg，但对热处理行业能耗来说是意义深远的。我国目前热处理能耗水平远远落后于美日等发达国家，热处理一直作为“能耗大户”而被重点关注，目前热处理的吨能耗还在 730kW·h 左右的水平。在标准中吨能耗水平降低 50kW·h，这是一个很大的飞跃，已达到国外 20 世纪 90 年代左右的水平，也对我国热处理行业提出更高的要求，而且必将大大推进热处理行业节能降耗工作。对常规周期式箱式炉以外的其他炉型的 b_k，修改的标准也重新进行了规定。考虑了目前我国热处理行业常用的六种炉型，其数值是经过不同的换算系数计算出来的，其换算系数见表 2.2-1。

表 2.2-1　常用六种炉型加热方式系数

炉型	密封箱式多用炉	真空淬火炉	流态炉	盐浴炉	常规连续式炉	可控气氛连续式炉
系数	1.2	1.5	1.6	2.0	0.9	1.08

表中系数来源于 GB/T 17358 中的表 2，但炉型略有调整，去掉了连续式真空炉炉型。

（6）为与其他“节能监测方法”类标准内容协调，重新规范了“附录 A”的相关要素。

2. 与有关现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准应符合 GB 15735《金属热处理生产过程安全、卫生要求》和 GB/T 30822《热处理环境

保护技术要求》。

本标准应符合中华人民共和国环境保护法和中华人民共和国安全生产法。

3. 预期达到的经济、社会效益

目前，我国每年钢材热处理的总质量（包括同一种材料施行多种热处理工艺的热处理质量的叠加）约为全国钢材总产量的30%，年实际热处理生产量超过了1亿t。我国热处理生产由于设备老旧，工艺落后，单位能耗一般在700kW·h/t以上，而工业发达国家如美国、日本都在400kW·h/t以下，若通过标准化来推进企业的节能减排，将单位能耗降低20%，则可节电约140kW·h，节能效果十分明显。同时，由于电力是二次能源，目前国内火力发电依然是电力的主要来源，而火力发电会产生大量的粉尘及温室气体，电力的大量节约无疑可大大减少粉尘及各种温室气体的排放，实现了节能减排。

该标准的推行，也将进一步促进热处理行业设备的升级换代，加快热处理企业使用更加节能、高效的可控气氛炉、真空炉来取代传统的能耗大的台车炉、井式炉、盐浴炉，促进整个热处理行业甚至是机械加工业的发展。该标准的制定与实施具有显著的经济与社会效益。（江苏丰东热技术有限公司向建华供稿）

三、标准内容（GB/T 15318—2010）

热处理电炉节能监测

1 范围

本标准规定了热处理电炉节能监测的监测内容、监测方法和考核指标。

本标准适用于周期式和连续式电炉。

本标准不适用于感应加热和离子加热等设备的节能监测。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 10066.1—2004 电热设备的试验方法 第1部分：通用部分

GB/T 10066.4—2004 电热设备的试验方法 第4部分：间接电阻炉

GB/T 10201—2008 热处理合理用电导则

GB/T 13324—2006 热处理设备术语

GB/T 17358—2009 热处理生产电耗计算和测定方法

3 术语和定义

GB/T 10201—2008 和 GB/T 13324—2006 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 产品可比用电单耗 comparable electricity consumption of unit product

根据热处理产品和工艺的不同，按相关规定将生产的合格产品折算成可比标准产品（折合质量），计算得出实际生产耗电量与产品折合质量的比值。其单位为千瓦时每千克（kW·h/kg）。

3.2 空炉损耗功率比 power ratio of no load loss

R

空炉损耗功率（P_0）与额定功率（P_C）的百分比，见式（1）：

$$R = P_0/P_C \times 100\% \tag{1}$$

4　热处理电炉节能监测项目

4.1　产品可比用电单耗

4.2　炉体表面温升

4.3　空炉升温时间

4.4　空炉损耗功率比

5　热处理电炉节能监测方法

5.1　测试工况

测试应在电炉处于正常生产运行工况下进行。

5.2　测试时间

监测测试时间为一个生产周期。

5.3　测试仪表

监测所用的仪表应能满足监测项目的要求，仪表应完好，并应在检定周期内，其精度应符合GB/T 10066.1—2004 的有关规定。

5.4　产品可比用电单耗的测试

5.4.1　实际生产耗电量

在一个生产周期内供给该电炉本体加热元件的电能量和直接用于该电炉的附加装置的耗电量合计为实际消耗电能量 W，单位为千瓦时（kW·h）。

5.4.2　产品的实际质量

电炉一个生产周期热处理的各种合格产品（工件）的实际质量 m_i，单位为千克（kg），其中 $i=1, 2, 3, \cdots, n$，为产品（工件）品种。

5.4.3　总折合质量

测试周期的总折合质量 m_Z 按式（2）计算：

$$m_Z = \sum_{i=1}^{n} m_i K_1 K_2 \tag{2}$$

式中　K_1——产品（工件）工艺材质折算系数，按表 1 确定；

K_2——常用热处理工艺折算系数应符合 GB/T 17358—2009 的规定，按表 2 确定。

表 1　产品（工件）工艺材质折算系数（K_1）

工件材质	低中碳钢或低中碳合金结构钢	合金工具钢	高合金钢	高速钢
合金元素总含量(%)	≤5	5~10	≥10	—
K_1	1.0	1.2	1.6	3.0

表 2　常用热处理工艺折算系数（K_2）

热处理工艺	K_2	热处理工艺	K_2
淬火	1.0	时效(固溶热处理后)	0.4
正火	1.1	气体渗碳淬火(渗层深 0.8mm)	1.6
退火	1.1	气体渗碳淬火(渗层深 1.2mm)	2.0
球化退火	1.3	气体渗碳淬火(渗层深 1.6mm)	2.8
去应力退火	0.6	气体渗碳(渗层深 2.0mm)	3.8
不锈钢固溶处理	1.8	真空渗碳(渗层深 1.5mm)	2.0
铝合金固溶处理	0.6	气体碳氮共渗(渗层深 0.6mm)	1.4
高温回火(>500°C)	0.6	气体氮碳共渗	0.6
中温回火(250~500°C)	0.5	气体渗氮(渗层深 0.3mm)	1.8
低温回火(<250°C)	0.4		

5.5 产品可比用电单耗的计算

测试周期内的合格产品的可比用电单耗 b_k，单位为千瓦时每千克（kW·h/kg），按式（3）计算：

$$b_k = W/m_Z \quad (3)$$

5.6 炉体表面温升的测定

炉体表面温升的测定按 GB/T 10066.4—2004 的有关规定执行。

5.7 空炉升温时间的测定

热处理炉空炉升温时间的测定和计算方法按 GB/T 10066.4—2004 的有关规定执行。

5.8 空炉损耗功率比的测定

热处理炉空炉损耗功率和额定功率的测量和计算按 GB/T 10066.4—2004 的有关规定执行。

6 热处理电炉节能监测考核指标

6.1 产品可比用电单耗

对于一个生产周期，按 5.4～5.6 测定和计算得出的结果，常规周期式箱式炉 b_k 应小于或等于 0.550kW·h/kg，其他炉型应符合表 3 要求。

表 3 常规热处理炉型产品可比用电单耗

炉 型	b_k/(kW·h/kg)	炉 型	b_k/(kW·h/kg)
密封箱式多用炉	0.660	盐浴炉	1.100
真空淬火炉	0.850	常规连续式炉	0.500
流态炉	0.900	可控气氛连续式炉	0.600

6.2 炉体表面温升

6.2.1 对于在额定温度下工作的电炉，表面温升应符合表 4 规定。

表 4 表面温升值

炉 型	额定温度/°C	表面温升/°C	
		炉壳	炉门或炉盖
箱式炉	750	≤40	≤50
	950	≤50	≤70
	1200	≤60	≤80
台车炉	750	≤40	≤60
	950	≤50	≤80
	1200	≤60	≤90
井式炉	750	≤40	≤60
	950	≤50	≤80
	1200	≤60	≤90
盐浴炉	850	≤60	—
	1300	≤90	—
密封箱式多用炉、底装料立式多用炉	950	≤50	≤65
	1200	≤60	≤75
连续式热处理炉	750	≤40	≤50
	950	≤40	≤55

6.2.2 对于不是在额定温度下工作的电炉，应按式（4）计算后与表 4 比较，看是否符合要求：

$$\Delta\theta \leqslant [(\theta - 20)/(\theta_n - 20)]\Delta\theta_n \quad (4)$$

式中　$\Delta\theta$——测得的表面温升（°C）；

θ——测量时的工作温度（°C）；

θ_n——电炉的额定温度（°C）；

$\Delta\theta_n$——在额定温度下的最大允许表面温升（见表4,°C）。

6.3　空炉升温时间

空炉升温时间应符合表5要求。

表5　空炉升温时间

炉型	额定温度/°C	工作容积/m^3	升温时间/h
箱式炉	950	≤0.2	≤0.5
		0.2～1.0	≤1.0
		1.0～2.5	≤1.5
箱式炉	1200	≤0.2	≤1.5
		0.2～1.0	≤2.0
		1.0～2.5	≤2.5
台车炉	950	≤0.75	≤1.2
		0.75～1.50	≤1.5
		1.50～3.00	≤2.0
井式炉	750	≤0.3	≤0.5
		0.3～1.0	≤1.0
		1.0～2.5	≤1.5
井式炉	950	≤0.2	≤1.0
		0.2～1.0	≤1.0
		1.0～2.5	≤2.0

注：热处理炉容积较大时，空炉升温时间应考虑工艺要求、处理能力和电力负荷等因素，由供需双方商定。

6.4　空炉损耗功率比

空炉损耗功率比按式（1）计算，并应符合表6规定。

表6　电炉空炉损耗功率比

炉　　型	额定功率/kW	空炉损耗功率比(%)	
		一等	二等
箱式炉	≤15	≤32	≤36
	15～75	≤30	≤35
	≥75	≤27	≤33
台车炉	≥65	≤18	≤23
井式炉	≤25	≤27	≤33
	25～50	≤22	≤27
	≥50	≤18	≤23
盐浴炉	≥20	—	≤40
密封箱式多用炉、底装料立式多用炉	≥90	≤27	≤33
网带式炉	≥60	≤35	≤40
推杆式炉	≥120	≤35	≤40
真空炉	≥40	≤25	≤30

注：对特大型炉或有特殊要求的设备，由供需双方自行商定。

7　热处理电炉节能监测结果评价

7.1　本标准规定的热处理电炉监测检查项目和测试项目考核指标是监测合格的最低标准，监测机

构应依此进行合格与不合格的评价。全部监测指标均合格方可认为节能监测结果合格。

7.2　对监测不合格者，监测机构应做出能源浪费程度的分析评价和提出改进建议，监测报告格式见附录 A。

附　录　A

（规范性附录）

热处理电炉节能监测报告

节监字第　　号

<table>
<tr><td>单位名称</td><td colspan="2"></td><td>监测日期</td><td></td></tr>
<tr><td>设备名称</td><td colspan="2"></td><td>设备编号</td><td></td></tr>
<tr><td>规格型号</td><td colspan="2"></td><td>监测标准</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">监测检查项目</td><td colspan="2">检查结果</td><td>结果评价</td></tr>
<tr><td colspan="2">热处理电炉是否处于正常生产运行工况</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">监测测试时间是否为一个生产周期</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">监测所用的仪表是否能满足监测项目的要求</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">设备仪表是否完好、仪表是否在检定周期内</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">热处理电炉的操作是否造成热能额外损耗</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">建立热处理电炉的严格检修维护制度</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">监测测试项目</td><td>测试结果</td><td>考核指标</td><td>结果评价</td></tr>
<tr><td colspan="2">产品可比用电单耗/(kW·h/kg)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">炉体表面温升/°C</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">空炉升温时间/h</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">空炉损耗功率比（%）</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">监测结果评价：

单位名称（节能监测专用章）
年　　月　　日</td></tr>
<tr><td colspan="5">编制：　　　　　　　　　　审核：　　　　　　　　　　批准：</td></tr>
</table>

第三节　热处理生产电耗计算和测定方法

一、概论

热处理是提高机械产品质量的有力手段，但也是消耗能源的重要方面。我国机械工业 90% 以

上的热处理设备用电。由于生产管理体制的不健全，管理水平和技术水平不高，用于热处理的电能浪费很大。合理和节约用电是我国机械行业热处理急需解决的问题。制定 GB/T 17358 的目的在于规范各种热处理工艺的电能消耗，为热处理加工企业制定自己的工艺电耗定额提供依据。本标准制定于 1998 年，修订于 2009 年。

1. 国外热处理用电情况

欧美从 20 世纪 70 年代开始，热处理用的能源结构有变化的趋向，从使用燃料（石油、天然气）开始转向用电。其原因是天然气的枯竭，石油价格的上涨，核能发电和水电比例逐渐增大。即使如此，欧美和日本的燃料炉仍占 20%～30%，加上燃料炉节能技术的进步，由用燃料转向用电的速度缓慢。奥地利、比利时、法国和意大利在 20 世纪后期电阻炉年增长约 8%。

感应加热设备增长较快，为电炉的 1.5 倍。20 世纪后期，奥地利、比利时，法国、意大利和荷兰的感应加热设备 10 年内的总电容量约增长 2 倍，平均年增长率为 16%～17%。

由于电能的大量使用（目前我国热处理用电占总发电量的 1% 以上），如何节约用电在欧洲受到了足够的重视。在这些国家中，现有热处理设备的生产潜力在生产组织上是被充分挖掘的。专业化的生产方式和各企业内部生产的合理安排，使设备利用率和负荷达到了很高的程度。因此，在节约措施上主要考虑的是改良设备和革新工艺的技术途径，诸如：

——采用经过准确热力学计算的加热装置，主要靠计算机实现使用燃料和电能的合理化。

——采用炉子附加装置，直接控制炉气碳势、氮势、氧势的传感器和自动开关，可节约百分之几的燃料和电能。

——采用新型绝热材料，可减少百分之数十的热损失。

——采用直接作用于炉料的发热体，减少蓄热、节能达 20% 以上。

——减少无用损耗，如料盘、夹具等无谓加热损耗，可节能 10%～25%。

按照上列国家 1974 年拥有的电炉台数及总电容量，可以大致估算出其单位电能消耗；平均每台设备容量 330×10^4kW/22000≈150kW，设 150kW 的设备的平均小时产量为 300～500kg，则单位电耗约为 300～450kW·h/t。

日本 20 世纪 70—80 年代对能源的节约十分重视。这是由于其国内能源资源匮乏和国际能源危机以来工业所受打击的结果。在热处理方面也毫不例外。日本政府在 1974 年 3 月和 1978 年 3 月公布了《普及推广低单位燃料的消耗工业炉》和《促进节能工业炉》的方针，并于 1979 年 6 月公布了《合理利用能源法》。日本工业炉协会于 1975 年成立了电阻炉节能委员会，通过三年多的实况调查和分析，于 1978 年 10 月提出了“电阻炉热效率实况和提高热效率对策”的报告。从该委员会提出的报告中，选择了各种热处理工艺总数为 100 炉次的测试数据，其单位电能消耗和平均热效率见表 8.1-1。

根据表 8.1-1 所列 100 炉的数据计算出的各种工艺平均单位电能消耗为 323kW·h/t，平均热效率为 54.3%。此数字接近我国机械工业 20 世纪 90 年代的情况。

日本工业炉协会电阻炉节能委员会的组成包括像三菱重工业、日立制作所、日产汽车等大企业，也有一些中小企业，包括热处理专业厂。因此，所统计的数字应该是代表日本全能厂的热处理车间和热处理专业厂的水平。日本的热处理专业厂 1996 年有 730 家，生产量占全国热处理产量的 30% 以上。

2. 我国热处理的电能消耗和节电潜力

我国热处理用电缺乏统计，只能根据拥有的设备总台数、装机容量和设备平均利用率估算。据中国热处理行业协会制定的“十二五”规划，全国热处理炉近 20 万标准台（75kW），总装机容量约 1500 万 kW，全年用电约 230 亿 kW·h，全国平均每吨热处理件电耗约 800kW·h。由此可见，

与欧、美、日本20世纪相比仍有1~2倍的差距。

造成这种情况的原因如下：

1）全能厂生产管理水平低，专业厂和用户不能保持长期协作关系，故不能连续生产，设备负荷率低。

2）生产技术和设备落后，工艺周期长，设备效率低。

3）加热设备能源结构不合理，燃料炉比重小，节能措施不到位。

4）热处理炉炉衬蓄热量大，绝热性差，热损失大，加热效率低。

5）加热炉夹具，斜盘选材和结构不当，重量大，无功消耗多。

6）企业管理层对节能工作缺乏重视，对职工的节能教育不够，没有把节能作为重点工作来抓。

7）在加热时间的计算上采取最保守的计算方法，延长了工艺周期。

二、标准应用说明

1. 使用本标准的先决条件

本标准规定了与能耗有关的三个术语和定义：合格热处理件质量、热处理工艺电耗、标准电耗，都用每吨热处理件用电的千瓦·小时（度）数来计算。其中标准工艺电耗的定义特别指明是针对中碳钢或中碳合金结构钢。因为高碳高合金工模具钢的加热要求碳化物充分溶解和完全奥氏体化，所以工艺周期较长，能耗也大。这类钢的奥氏体化温度是在830~850℃范围，连续三班和额定装炉量是强调满负荷连续生产。没有这些前提条件就不可能得到准确的标准数值。

JB/T 50162、JB/T 50163和JB/T 50164规定了各种类型电阻炉的按能源利用有效程度划分等级，也是对电阻炉品质的要求。本标准提出所考核的热处理电阻炉应满足规定的三级以上。

2. 工艺电能消耗计算注意事项

不同热处理炉和热处理工艺的加热温度和保持时间都不一样，工艺电耗还和生产组织、设备利用率、负荷量有关。电消耗定额的计算方法是在正常生产条件下，用积累的经验和多次试验的数据先确定一标准工艺电耗，然后再考虑到这些条件的变化而乘以若干个条件系数，就可得出给定工艺在一定设备、生产方式、设备利用率和负荷、一定材料前提下的生产工艺电耗。

标准工艺电耗是参考了日本工业炉协会1979年的调查报告，在100炉生产试验数据以及国内热处理生产企业经验的基础上确立的，应该说具有相当的准确性。如此计算出的工艺电耗可作为企业生产的热处理电耗定额，用来考核本企业电耗情况。大于这个数值说明存在浪费，低于这个数值属于正常。企业也可用此数值作为对操作人员的奖惩依据。标准工艺电耗随今后的改善管理、技改和更新设备会逐步降低，若干年后应加以修订。

3. 综合工艺电耗计算说明

将用以上方法计算出的单项工艺能耗乘以用各该工艺生产的合格热处理件质量百分比，然后将单相计算数据相加就可得出整个企业、分厂或车间的热处理总能耗。用此数值作为判据和电表测出的数据比较，就能考核这些部门的电能利用状况。（北京机电研究所樊东黎供稿）

三、标准内容（GB/T 17358—2009）

热处理生产电耗计算和测定方法

1 范围

本标准规定了热处理生产电耗的计算和测定方法及各种热处理工艺电耗。

本标准适用于企业制定热处理工艺电耗。

大型铸锻件热处理生产电耗可参照本标准执行。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 5623　产品电耗定额制定和管理导则

GB/T 7232　金属热处理工艺术语

GB/T 12603　金属热处理工艺分类及代号

GB/T 13324　热处理设备术语

GB/T 15318　工业热处理电炉节能监测方法

GB/Z 18718　热处理节能技术导则

JB/T 5644　推杆式热处理电阻炉能耗分等

JB/T 5701　辊底式热处理炉能耗分等

JB/T 5704　罩式热处理炉能耗分等

JB/T 50162　热处理箱式、台车式电阻炉能耗分等

JB/T 50163　热处理井式电阻炉能耗分等

JB/T 50164　热处理电热浴炉能耗分等

JB/T 50182　箱式多用热处理炉能耗分等

JB/T 50183　传送式、震底式、推送式、滚筒式热处理连续电阻炉能耗分等

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324、GB/T 12603、GB/Z 18718 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　合格热处理件质量　mass of qualified heat teratment parts

在统计报告期（日、周、月、年）内由单项或数个热处理工序生产，经检验合格的热处理件的质量，其单位为千克（kg）。

3.2　热处理工艺电耗　power consumption of heat treatment process

在统计报告期（日、周、月、年）内由单项或数个热处理工序生产的每千克合格热处理件质量所消耗的电能，其单位为千瓦时每千克（kW·h/kg）。

3.3　标准工艺电耗　power consumption of standard heat treatment process

将中碳钢或中碳合金结构钢在额定装载量下于 830～850℃ 的箱式电阻炉中施行热装炉加热，连续三班生产的淬火工艺电耗定为标准工艺电耗 N_b。

4　总则

4.1　热处理生产用的各式电阻炉的能耗分等应符合 JB/T 5644、JB/T 5701、JB/T 5704、JB/T 50162、JB/T 50163、JB/T 50164、JB/T 50182、JB/T 50183 的规定。

4.2　按 GB/T 5623 的规定，以数理统计法计算和制定热处理生产电能消耗，以实测法进行电能消耗的考核和管理。

5　热处理工艺电能消耗的计算

5.1　标准工艺电能消耗定为：$N_b = 0.280$kW·h/kg。

5.2　以标准工艺电耗为基数，根据各种热处理工艺的特点及实施条件，并结合有关统计数据计算各种热处理工艺电耗，按式（1）进行计算。

$$N_i = N_b k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 \qquad (1)$$

式中　N_i——某一热处理工艺电耗（kW·h/kg）；

N_b——标准工艺电耗（kW·h/kg）；

k_1——常用热处理工艺折算系数，按表1确定；

k_2——常用热处理工艺加热方式系数，按表2确定；

k_3——常用热处理工艺生产方式系数，按表3确定；

k_4——常用热处理工艺工件材料系数，按表4确定；

k_5——常用热处理工艺装载系数，按表5确定。

表1　常用热处理工艺折算系数 k_1

热处理工艺	折算系数	热处理工艺	折算系数
淬火	1.0	气体渗碳淬火(渗层深0.8mm)	1.6
正火	1.1	气体渗碳淬火(渗层深1.2mm)	2.0
退火	1.1	气体渗碳淬火(渗层深1.6mm)	2.8
球化退火	1.3	气体渗碳(渗层深2.0mm)	3.8
去应力退火	0.6	真空渗碳(渗层深1.5mm)	2.0
不锈钢固溶处理	1.8	气体碳氮共渗(渗层深0.6mm)	1.4
铝合金固溶处理	0.6	气体氮碳共渗	0.6
高温回火(>500°C)	0.6	气体渗氮(渗层深0.3mm)	1.8
中温回火(250~500°C)	0.5	离子渗氮	1.5
低温回火(<250°C)	0.4	感应淬火	0.5
时效(固溶处理后)	0.4	—	—

表2　常用热处理工艺加热方式系数 K_2

加热方式		空气炉	气氛炉	真空淬火炉	流态炉	浴炉
系数	周期炉	1	1.2	1.5	1.6	2.0
	连续炉	0.9	1.08	1.35	—	—

注：浴炉按一般生产习惯不加炉盖。

表3　常用热处理工艺生产方式系数 k_3

生产方式	一班	二班	三班
系数	1.6	1.4	1.0

表4　常用热处理工艺工件材料系数 k_4

工件材料	低中碳钢或低中碳合金结构钢	合金工具钢	高合金钢	高速钢
系数	1.0	1.2	1.6	3.0
合金元素总含量（%）	≤5	5~10	≥10	—

表5　常用热处理工艺装载系数 k_5

净装炉量	<30%额定装载量	45%额定装载量	60%额定装载量	>70%额定装载量
系数	1.6	1.4	1.2	1.0

注：感应淬火按 $k_5=1$ 计。

6　热处理综合工艺电耗的计算

对包含有多种热处理工艺的热处理车间，其综合工艺电耗按式（2）计算：

$$N_z = N_1 T_1 + N_2 T_2 + N_3 T_3 + \cdots + N_n T_n \qquad (2)$$

式中　N_z——热处理综合工艺电耗（kW·h/kg）；

N_1，N_2，N_3，…，N_n——各种热处理工艺电耗（kW·h/kg）；

T_1，T_2，T_3，…，T_n——各种热处理工艺处理的合格热处理件质量占总合格热处理件质量的百分比。

7　热处理工艺电耗的测定方法

7.1　测定条件

测定条件应符合 GB/T 15318 的有关规定。

7.2　测定方法

根据在统计报告期内进行单项工序生产时实际的电耗及合格热处理件质量，按式（3）计算出该项工序实际的热处理工艺电耗：

$$N_{si} = W_{si}/m_i \qquad (3)$$

式中　N_{si}——第 i 项工序实际热处理工艺电耗（kW·h/kg）；

W_{si}——第 i 项工序生产时实际的电耗（kW·h）；

m_i——第 i 项工序生产的合格热处理件质量（kg）。

第四节　热处理节能技术导则

一、概论

在机械制造工业中，热处理是耗能大户。在大中型汽车、拖拉机制造、标准紧固件、轴承和机床制造企业，热处理车间的电耗要占到整个企业用电量的1/4以上，而工模具制造、汽车配件企业热处理的能耗更要占到总量的1/2以上。

我国机械工业的热处理企业能源利用率低，管理水平不高，浪费严重，和国外先进水平比较有较大差距。日本在20世纪70～80年代受国际能源危机影响对节约能源给以极大重视，1979年即公布了《合理利用能源法》，使其在很短时间就将热处理的能源利用提到很高水平。美国1997年热处理营业额是我国的25倍，年用电量仅为我国热处理用电的60%。为此，中国热处理行业协会在所制定的全国热处理行业十二五规划和2020年设想中仍将节能作为新五年计划的主要任务之一。全国热处理学会在所开展的热处理生产技术改造研讨活动中也把节能的热处理作为四大发展方向之一。

本标准制定于2002年。

二、标准应用说明

1. 热处理的能源应用

我国机械工业的热处理设备，几乎占台数总量的90%是电炉。欧美的热处理设备中燃料炉较多，但从20世纪70年代开始，用电的数量有增加的趋势，并在燃料炉的节能上也下了很大功夫。在这些国家中，充分挖掘现有热处理设备的生产潜力，组织专业化生产，以及各企业内部生产的合理安排，使设备的利用率达到很高的程度。

（1）依靠计算机，实现燃料和电能的合理利用。目前已开发出一系列根据传热学理论和热平衡计算的加热数学模型，以及加热炉设计软件。

（2）采用炉子的控制装置，直接控制炉气碳势、氮势、氧势的传感器和执行机构，可节约百分之几的燃料和电能。

（3）采用新型绝热材料（如陶瓷纤维），可减少20%以上的热损失，如用在周期式加热炉上，效果更为显著。

（4）采用直接加热工件的方法和发热体，以减少蓄热损失和辐射损失，可有效的节约能源。例如用感应加热设备加热工件，以及将工件作为负载，直接通电（低电压、高电流）加热大型螺旋弹簧，进行热处理。

（5）改进料盘、夹具的结构，增加强度减轻耐热钢重量，以减少料盘、夹具的无效加热损耗。例如西欧的网带式传送带炉型的发展，据统计可节约10% ~20%的热能。

（6）在燃料炉的燃烧嘴和辐射管采取预热空气措施能节约20%燃料。

2. 热处理节能途径

热处理加热的节能潜力很大。在实际生产中，车间工艺员和操作工人的节能意识是实现高效、优质、低能耗热处理的主要因素。热处理加热节能的主要途径有：

（1）加热节能的工艺措施。工艺节能潜力大，投入小，具有事半功倍的效果。但由于人们习惯成性，工艺节能往往受到忽视。实现工艺节能，必须检讨以往的认识，改变传统观念。热处理加热工艺节能的可能途径详见图8.4-1。

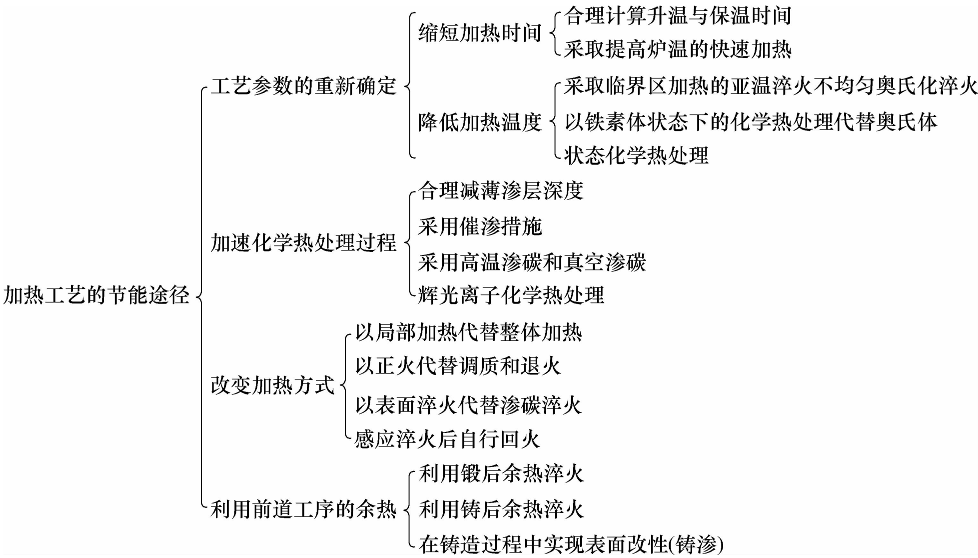


图8.4-1　加热工艺的节能途径

（2）加热设备的节能。加热设备的节能改造潜力十分巨大。从节能角度看，对过去所有的热处理加热设备绝大部分都必须加以改造。加热设备的主要节能途径列于图8.4-2。

（3）合理的生产管理。合理的生产管理是发挥节能技术措施潜力的前提保证。这里的管理是指生产批量的组织与安排。从管理角度首先应考虑的是保证加热设备的满负荷（达到额定装炉量）连续运转。为此，热处理的生产就必须有足够的批量，并根据批量合理地选用加热设备的类型、规格和大小，使之能实现均衡生产。例如，批量足够大时应尽可能选用连续式加热设备（推杆炉、输送带式炉、振底炉、网带式炉等），而不用周期式炉。批量不足、设备选用不当会使设备负荷极低或经常临时性开炉，使大量的时间和热能浪费在炉子的升温过程。因此，当一个工厂的产品不固定、品种多、产量不稳定、批量又小，不能实现连续性均衡生产时，不宜自建热处理车间、小组或工段，宜将工件送专业厂协作。（北京机电研究所樊东黎供稿）



图 8. 4-2　加热设备的节能途径

三、标准内容（GB/Z 18718—2002）

热处理节能技术导则

1　范围

本标准规定了在热处理生产中为避免能源浪费、确保能源的合理使用应采取的主要节能途径和措施。

2　引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 7232—1999　金属热处理工艺术语

GB/T 17358—1998　热处理生产电耗计算和测定方法

JB/T 50162—1999　热处理箱式、台车式电阻炉能耗分等

JB/T 50163—1999　热处理井式电阻炉能耗分等

JB/T 50164—1999　热处理盐浴炉能耗分等

3　定义

本标准除采用 GB/T 7232 规定的定义外，采用下列定义。

3.1　加热设备的热效率　thermal efficiency for heating equipment

加热设备在一定温度下，满负荷工作时，加热工件所需的有效热量和总耗热量的百分比值。

3.2　加热设备的负荷率　load rate of heating equipment

设备装炉量占额定生产量的程度。通常以实际装炉量和额定装炉量的百分比来表示。

3.3　加热设备的利用率　usefulness of the heating equipment

加热设备每年实际开工日数与规定的年工作日的百分比。

3.4　空气（过剩）系数　air coefficient

炉内燃烧时实际供给空气量与理论完全燃烧所需的空气量比值。

3.5　热处理能源　energy source for heat treatment

指可作为热处理热源的燃料（固体、液体和气体）和电能以及制备可控气氛的气体、液体燃料等。

4　热处理节能的途径

4.1　通过有效的技术和管理可使热处理能源获得最大程度的节约。

4.2　热处理加热设备应连续使用和在接近满负荷条件下工作。

4.3　减少加热设备的热损失，提高热效率。

4.4　回收利用燃烧废热、废气。

4.5　燃料在尽可能合理的条件下得到充分燃烧。

4.6　采用节能的热处理工艺。

4.7　企业设专人管理能源，并建立完善的管理制度。

5　提高加热设备的负荷率和利用率

5.1　加热设备的生产能力应和企业的生产纲领相适应。

5.2　热处理加热设备的负荷率不应低于50%。

5.3　加热设备应三班连续生产和维持每周五天以上的开工时间。

5.4　单件小批量生产以及热处理连续性很差的零件应委托专业厂协作加工。

6　提高电加热设备的热效率

6.1　电阻炉加热（850～950℃）热效率不得低于35%。对超期服役、热效率低于35%的设备必须施行节能改造。

6.2　通过以下措施使电阻炉热效率普遍提高到50%以上。

6.2.1　改进设备结构、减少散热面积。

6.2.2　用轻质耐火砖代替重质砖。

6.2.3　用陶瓷纤维耐火材料代替耐火砖。

6.2.4　用优质耐热钢做夹具、料盘、炉罐等构件，以减轻其质量。

6.2.5　提高设备密封性，尽量避免炉壁上开孔、减少炉门开启时间和开启频繁程度。

7　提高燃烧加热设备的热效率

7.1　燃烧加热设备应选择优质燃料。例如发生炉煤气、焦炉煤气、高炉煤气、城市煤气、天然气、液化石油气、轻油和重油，各企业可因地制宜地选取。从环境和方便角度以用天然气最为有利。

7.2　燃烧加热设备的热效率不得低于30%。

7.3　除应采取6.2所列各种措施外，尚需采取以下改善燃烧的方法，使热效率提高到50%以上。

7.3.1　使燃烧的空气系数保持在1.1～1.2范围内。

7.3.2　燃烧嘴和辐射管必须达到规定的品质标准。

7.3.3　采用可严格控制炉温和空气系数的自动调节系统。

7.3.4　燃烧嘴必须和燃料相适应，严禁更换燃料时不换烧嘴。

7.3.5　利用燃烧废热预热空气到300℃以上。

7.3.6　燃烧嘴和辐射管必须具有预热空气功能。

7.3.7　经常维护和检修燃烧器，使其始终保持正常燃烧状态和规定的消耗水平。

8　采取各种节能工艺措施、在不投资和少投资条件下获得节能效果

8.1　通过实际测定，修正在各类加热设备中的加热计算系数，最大限度地缩短加热时间。

8.2　碳素结构钢和低合金结构钢尽量采用不均匀奥氏体化淬火方式，取消加热保持时间（实行所谓“零保温淬火”）。

8.3　采用加速化学热处理的催渗措施。

8.4　用低温热处理代替高温热处理。

8.5　用局部（感应或火焰）热处理代替整体热处理。

8.6　用中碳结构钢感应淬火代替渗碳淬火。

8.7　尽可能利用锻造余热施行热处理。

8.8　采用可施行快速热处理的金属材料，如快速渗碳钢、快速渗氮钢、低淬透性钢等。

8.9　建立热处理设备的严格检修维护制度，严格控制工装和工艺材料品质，力求减少和避免返工、返修和报废。

9　改善能源管理、合理组织生产

9.1　热处理企业或热处理分厂、车间设专职或兼职能源管理员，在企业有关领导直接领导下负责企业、分厂、车间的能源管理工作。

9.2　能源管理员必须经国家能源主管部门举办的能源管理学习班培训，取得结业证书后方可担任。

9.3　能源管理员要对本单位或部门的燃料、电力消耗，各项能源利用指标、每台设备的能耗统计数字进行经常性记录［（见附录A）（标准的附录）］，并计算单位产量能耗，节能指标完成情况以及具体节能措施效果等［（见附录B）（标准的附录）］。所有指标的计算应符合GB/T 17358、GB/T 50162、JB/T 50163、JB/T 50164的规定。

9.4　能源管理员应督促制订各种热处理件的节能工艺规范，并监督执行。

9.5　能源管理员应经常提出各项节能措施建议，并组织开展群众性的节能技改活动。

10　奖惩制度

10.1　国家和地方政府主管部门对热处理节能效率优异企业在精神和物质上应予鼓励和奖赏，对严重浪费能源者给予惩罚。建议国家主管部门委托全国或地方行业协会监督代行。

10.2　企业内部按所属各热处理部门的节能工作优劣实行奖惩。具体办法由各企业自定，报行业协会核定。

附　录　A

（标准的附录）

热处理企业、分厂、车间技经指标、生产情况和设备利用率报表

________厂________车间、工段________年______月

填表人________审核人________

表A1　产量（t）

项目	产品	工、夹、模、量、刃具	机修	小计
本厂任务				
对外承接任务				
共计				

表 A2　加热设备利用率

序号	设备名称及型号	主要技术规　格	台	实际工作时间/台·h	三班制工作时间/台·h	检修时间/台·h	利用率(%)

附　录　B
(标准的附录)
各工序折合单位产量能耗

各工序折合单位产量能耗见表 B1。

表 B1　各工序折合单位产量能耗

工序		电力热值 864 kcal/kW·h kW·h/折合 t				煤气热值 1250~3350kcal/m^3 m^3/折合 t				天然气热值 9500 kcal/m^3 m^3/折合 t				液化气热值 30000kcal/m^3 m^3/折合 t				燃油热值 10000kcal/kg kg/折合 t				单位总能耗
		参考折合系数	数值	实际折合系数	数值	参考折合系数	数值	实际折合系数	数值	参考折合系数	数值	实际折合系数	数值	参考折合系数	数值	实际折合系数	数值	参考折合系数	数值	实际折合系数	数值	kcal/折合 t
淬火	≤900℃	1				0.9				0.9				0.9				0.9				
	900~1000℃	1.3				1.2				1.2				1.2				1.3				
	≥1000℃	1.6				1.5				1.5				1.5				1.6				
	固溶处理(不锈钢)	1.8				1.6				1.6				1.6				1.7				
	表面淬火	0.4																				
正火	800~900℃	0.8				0.7				0.7				0.7				0.8				
	等温正火	1.1				1.0				1.0				1.0				1.1				
退火	去应力退火	0.6				0.5				0.5				0.5				0.5				
	密封退火	1.1																				
	球化退火	1.3																				
回火	高、中温回火	0.6				0.5				0.5				0.5				0.5				
	低温回火	0.4				0.3				0.3				0.3				0.3				
	时效	0.4				0.3				0.3				0.3				0.3				
化学热处理	液体渗碳	3.6																				
	固体渗碳	3.0																				
	气体渗碳	2.5																				
	深层渗碳 >3mm	5.0																				
	碳氮共渗	1.7																				
	气体渗氮	1.8																				
	氮碳共渗	0.6																				
	防腐渗氮	1.3																				
	离子渗氮	1.5																				
	渗硼、硅、铝、锌和复合渗等																					
特殊热处理	真空淬火	1.3																				
	真空渗碳	2.0																				
	流态床热处理	1.8																				
	冰冷处理	0.3																				

注：1kcal = 4186.8J。

第五节　热处理生产燃料消耗计算和测定方法

一、概论

1. 研究背景

热处理的能源一般分为电能和燃料两大类。用电或用燃料，以及用何种燃料取决于生产成本，能源供应条件，操作与控制的难易程度、可靠性，热处理工艺的特性和对生态环境影响等综合因素。合理选择能源是热处理设备节能要考虑的首要问题。用电干净，易控制温度，辅助设施少，操作简便。有电阻炉加热工件理论上最高可获得80%的热效率。但电是二次能源，热电厂发电效率仅为30%～40%。因此，用电加热的理想综合效率只有24%～32%。燃料是一次能源，尤其是天然气和液化石油气作为加热炉热源，同时充分利用烟气废热，在理论上可以使综合热效率达到65%以上。因此，从更节能的角度出发，燃烧炉比例应占到20%～30%。现在由于西气东输的实现，已开放天然气的部分工业应用，热处理炉用天然气加热有逐渐增加趋势，估计在10年后有增到20%的可能，这就意味着耗电46亿kW·h的加热炉要用天然气作燃料。充分利用余热和废热的燃料炉比电阻炉的热效率至少可高出一倍。也就是说，热处理用的燃料炉至少可节约23亿kW·h的电，相当于全年总用电量的10%。因此，挖掘潜力，在我国部分地区充分利用燃料进行加热，将对于缓解电力供应日益紧张的现状具有重要的意义。制定《热处理生产燃料消耗及其计算和测定方法》标准有助于加强热处理能源管理，有效利用能源，节约使用燃料，降低生产成本。

2. 国内外情况简要说明

用燃料比用电便宜，但其燃烧过程较为复杂，随着控制技术的进步，气代电和液体燃料炉温度实现精确控制成为可能。天然气是一次能源，热处理炉除直接燃烧可获得至少30%的热效率外，烟道气废热还可用来预热燃烧，用于回火炉加热、清洗液和淬火油的加热以及其他生活用途，使绝对的热利用率可达到80%以上。目前，先进工业国家的热处理燃料炉占有相当比例。在我国，2015年天然气利用规模可能会达到2600亿m^3，在能源消费结构中的比例预计将从以前的3.9%提高到8.3%左右。美国和日本等发达国家的热处理燃料炉比例大。据调查，西欧国家热处理用燃料炉的比重占20%～30%，美国占25.5%，而日本燃料炉主要用重油、煤油、液化气和城市煤气，总共占61.4%，而电炉仅占38.6%。近10年来，我国天然气资源勘探有重大突破，将为热处理行业创造非常便利的用气条件。广大企业应看到热处理能源变化的这种有利前景，在热处理生产技术改造和设备的更新中充分地考虑和利用。

根据近10年全国油气资源评价结果，我国陆上和近海115个盆地的天然气远景资源量为$56\times10^{12}m^3$，天然气可采资源量为$22\times10^{12}m^3$左右，主要分布在西北、西南和近海地区。2000年以来，随着苏里格、迪那2、普光、大牛地等气田的不断被探明，天然气储量已进入快速增长期。“十五”期间年均新增探明天然气地质储量达$4850\times10^8m^3$，“十一五”前3年年新增探明储量均在$5000\times10^8m^3$以上。截至2008年底，我国累计探明天然气地质储量已达$7.92\times10^{12}m^3$。根据目前我国的天然气探明储量、已发现气田控制与预测储量来进行预测，未来20年我国将经历一个天然气工业较快发展的时期。我国专家预测：到2020年我国天然气产量将为$1500\times10^8\sim1800\times10^8m^3$。为了满足日益增长的天然气需求，我国还将逐步加大液化天然气进口力度。中国热处理行业协会在《热处理行业“十二五”发展规划》中提出了我国热处理能源结构改革的问题，即将燃料炉比例逐步增加到15%，平均热效率达到55%以上。

3. 标准修订原因

本标准初次制定于2005年，即GB/T 19944—2005《热处理生产燃料消耗定额及其计算和测定方法》。

根据国家节能要求和热处理行业加热炉技术进步情况，专业化的生产方式和各企业内部生产的合理安排，燃料加热炉的利用率和负荷达到了很高的程度，诸如：

1）利用烟道气废热预热参与燃烧空气。近代技术和先进的换热器可以把空气预热到500～600°C的高温，如此可以节约30%～50%的燃料。

2）合理调整燃烧系数，使其保持在1.1～1.2，比通常$\alpha=1.5\sim2.0$时节约15%～20%的燃料。

3）采用可预热空气的高效燃烧器或辐射管。

4）采用高效换热器和双换热器交替使用方法。

因此，应对GB/T 19944—2005进行修订，修订后标准名称改为《热处理生产燃料消耗计算和测定方法》。

二、标准应用说明

1. 修订依据

本标准在确定标准热处理工艺燃料消耗时，与GB/T 17358—2009一样以淬火工艺为基准。根据GB/T 17358—2009《热处理生产电耗计算和测定方法》，将标准工艺电耗N_b由0.30kW·h/kg降为0.28kW·h/kg，本标准在修订时，相应地将标准工艺燃料消耗R_b由2000kJ/kg降为1900kJ/kg。计算方法如下：

（1）燃料炉的热效率确定依据。电阻炉的热效率在满负荷生产时可达80%。电是二次能源，热电厂的发电效率平均为35%，故实际能源利用率只有80%×35%=28%。通常1kW·h电需10258kJ的燃料。燃烧炉用的气体或液体燃料是一次能源。按不同使用条件，实际热效率可达到25%～65%，取其中间值42%。

（2）标准工艺燃料消耗确定依据　以中碳钢、中低碳合金结构钢加热到830～850°C淬火的单位燃料消耗为标准工艺燃料消耗。

电阻炉加热时标准工艺电耗N_b=0.28kW·h/kg，电能的当量热值1kW·h=3600kJ，故

$$N_b = 0.28\text{kW·h/kg} \times 3600\text{kJ/kW·h} = 1008\text{kJ/kg}。$$

当电阻炉的热效率按80%计算时，热处理电炉的实际有效利用能耗Q_b为

$$Q_b = N_b \times 80\% = 1008\text{kJ/kg} \times 80\% = 806.4\text{kJ/kg}。$$

燃烧炉用的气体或液体燃料是一次能源，如果燃烧炉实际热效率按42%计算，可得热处理燃烧炉标准工艺消耗为

$$Q_b \div 42\% = 806\text{kJ/kg} \div 42\% = 1920\text{kJ/kg}。$$

通常热电厂发1kW·h电需要的热能为10258kJ，用电阻炉加热时的标准工艺电耗是0.28kW·h/kg，相当于2872kJ/kg的燃料。

也就是说燃烧炉比电阻炉综合热效率高33%，即节约1/3的燃料。

因此，其标准工艺燃料消耗取1900kJ/kg，其他工艺燃料消耗计算方法与电阻炉相同。按燃烧炉的节能潜力，规定R_b=1900kJ/kg，对一般热处理企业，应该是稍加努力就可以达到的。也就是说，这是一个平均先进的指标。

其他热处理工艺燃料消耗的计算系数仍按照GB/T 17358—2009电阻炉的数据进行修订。

2. 燃料消耗相关资料

（1）本标准所指的燃烧炉不包括固体燃料（煤、焦炭）炉，只包括各种气体燃料和油燃料。

由于自然资源有限，即使用燃料加热，节约能源仍然是很重要问题，而且燃料和电力占热处理成本很大的比重，减少燃料和节电可以大幅度降低生产成本。表 8. 5-1 所示为可用于热处理加热炉的气体和液体燃料。

表 8. 5-1　热处理加热炉用气体和液体燃料①

燃料	成分(体积分数,%)									热值④ /(kJ/m^3)	备　注
	数量 /m^3	化学组成(干态)									
		CO_2	CO	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	H_2	O_2	N_2		
天然气②	1	—	—	87.00	—	7.6	—	—	1.90	低 36996/高 40871	$C_3H_8$2.7；C_4H_{10}0.8
焦炉煤气	1	2.20	6.90	34.20	2.40	—	47.30	0.30	6.00	18628/20901	H_2S0.5；H_2O1.8
粗制发生煤气	1	7.50	20.50	3.00	—	—	12.50	—	56.50	5167/5506	
精制发生炉煤气	1	9.71	19.03	2.78	0.19	—	13.48	0.02	54.79	4768/5104	
高炉煤气	1	12.50	25.40	—	—	—	3.50	—	58.60	3420/3483	水气 1.45%(体积分数)
水煤气	1	3.50	43.50	0.70	—	—	47.30	0.60	4.40	10394/11288	
照明煤气	1	4.60	5.50	36.60	4.60	—	42.30	4.60	1.80	20115/22242	
照明煤气(增碳水煤气)	1	2.90	18.20	23.90	8.10	—	38.30	4.80	3.80	18863/19865	
混合煤气③	1	3.46	13.84	28.30	6.92	—	39.60	4.73	3.15	19310/21192	1 份煤气,2 份增碳水煤气
市售丁烷	1	—	—	—	—	—	—	—	—	110914/120153	C_4H_{10}93%(体积分数)
市售丙烷	1	—	—	—	—	—	—	—	—	88336/95825	$C_3H_8$97%(体积分数)
2 号燃料油	1kg	C86.5	—	—	—	—	—	—	—	42819/45355kJ/kg	S0.7,(O_2 + H_2 + 灰分)0.2
6 号燃料油	1kg	C86.6	—	—	—	—	—	—	—	40493/42563kJ/kg	S2.0,(O_2 + H_2 + 灰分)1.0

① 此表中数据来源于 W. Trinks，M. H. Mawhinney，Industrial Furnaces，4th edition，John Wiley & Sons，Inc. New York，1967.

② 此为典型成分，天然气成分按产地有很大差别。

③ 混合煤气是指罐式发生炉煤气和增碳水煤气混合物，在钢铁联合企业中，混合气通常是指焦炉煤气和高炉煤气混合气体。

④ 从英制热量单位（Btu/ft^3，Btu/lb）换算成公制的数据：1Btu = 1.055kJ，1m^3 = 35.3147ft^3，1kg = 2.20462lb。

（2）生产率对燃料消耗影响最大，燃料消耗随生产率增加直线上升，而单位能耗却逐步下降(见图 8.5-1)。表 8.5-2 所示为在各种类型工业炉中进行热处理时的单位热消耗。

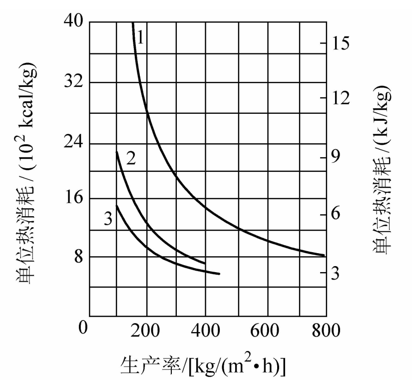


图 8.5-1　单位热消耗和生产率的关系

1—箱式炉　2—半连续式炉　3—连续式炉

表 8.5-2　在各种类型工业炉中进行热处理时的单位热消耗

热处理工艺	炉子类型	金属加热温度/℃	加热炉平均生产率/[kg/(m²·h)]	加热1kg金属的热消耗	
				kcal	kJ
加热热钢锭	再生式热坑	1250	—	280～420	1172～1758
加热热钢锭	退火坑式炉	1250	—	225～365	942～1528
型钢生产					
毛坯加热	推杆炉	1250	250	390～980	1633～4103
毛坯加热	箱式或转底炉	1250	125	980～1700	4103～7118
淬火	箱式或连续炉	870	125	560～840	2344～3517
回火	箱式或连续炉	550	100	280～560	1172～2344
去应力退火	箱式炉	550	100	280～560	1172～2344
正火	箱式或连续炉	925	125	560～840	2344～3517
退火	箱式炉	840	20	560～1400	2344～5862
不完全退火	箱式炉	700	25	280～1100	1172～4605
缓慢冷却	冷却坑	820	—	85～280	356～1172
棒料和钢丝生产					
毛坯加热	推杆炉	1250	250	335～980	1403～4103
毛坯加热	箱式炉	1250	725	980～1400	4103～5862
正火	罐式（马弗）炉	900	—	700～980	2930～4103
正火	连续炉	900	150	420～700	1758～2930
退火	罐式炉	730	—	700～980	2930～4103
钢丝淬铅	连续炉	900	50	560～700	2344～2930
干燥	干燥箱	230	—	335～500	1403～2093
干燥	平台	400	—	225～335	942～1403
盐浴退火	盐浴炉	730	—	700～980	2930～4103
镀锌	连续炉	480	—	225～335	942～1403
铅浴退火	连续炉	730	—	420～700	1758～2930
镀锡	连续炉	230	—	85～200	356～837
钢管生产					
毛坯加热	滚压周期加热	1250	200	560～840	2300～3517
毛坯加热	箱式炉	1250	125	980～1250	4103～5233
毛坯预热	滚压周期预热	1040	250	335～450	1403～1884
镦粗加热	箱式炉	1320	—	450～780	1884～3266
端头焊接加热	箱式炉	1450	450	980～1200	4103～5276
端头焊接加热	连续炉	1600	500	700～980	2930～4103
搭焊加热	箱式炉	1450	450	900～1250	3768～5233
开式退火	箱式炉	730	100	280～560	1172～2344
光亮退火	连续炉	730	150	280～560	1172～2344
正火	连续炉	900	125	420～700	1758～2930
镀锌	浴炉	480	—	280～420	1172～1758

（续）

热处理工艺	炉子类型	金属加热温度/℃	加热炉平均生产率/[kg/(m²·h)]	加热1kg金属的热消耗	
				kcal	kJ
带材和板材生产					
扁钢加热	箱式再生炉	1250	125	1100~1400	4605~5862
扁钢加热	箱式回收热炉	1250	125	960~1240	4019~5192
扁钢加热	推杆炉	1250	350	335~560	1403~2344
毛坯加热	箱式炉	870	125	560~700	2344~2930
毛坯加热	连续炉	870	150	420~560	1758~2344
叠板加热	箱式炉	760	125	500~615②	2093~2575
叠板加热	连续炉	760	150	335~500②	1403~2093
开式退火	连续炉	870	75①	700~980	2930~4103
装箱退火	箱式炉	730	50	500~615	2093~2575
炉罐退火	罐式（马弗）炉	730	100	335~500	1403~2093
淬火	连续炉	1100	75②	900~1060	3768~4438
镀锌	浴炉	480	—	280~420	1172~1758

① 计算中只计成品件，不包括废品。

② 只计算被加热金属。

（3）各种气体和液体燃料的物理化学性质列于标准中表A.1和表A.2。表中数据来源于SH/T 0356—1996《燃料油》和GB 252—2011《普通柴油》。（北京机电研究所李俏供稿）

三、标准内容（GB/T 19944—2015）

热处理生产燃料消耗计算和测定方法

1　范围

本标准规定了热处理生产燃料消耗的计算方法和测定方法。

本标准适用于企业根据热处理工艺燃料消耗计算结果和测定方法，实行燃料管理。

大型铸锻件热处理和钢坯、钢材加热的燃料消耗测定可参照本标准执行。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5623　产品电耗定额制定和管理导则

GB/T 7232　金属热处理工艺　术语

GB/T 12723　单位产品能源消耗限额编制通则

GB/T 13324　热处理设备　术语

GB/T 15318　热处理电炉节能监测

GB/T 17358　热处理生产电耗计算和测定方法

GB/Z 18718　热处理节能技术导则

GB/T 30824　燃气热处理炉温度均匀性测试方法

JB/T 5644　推杆式热处理电阻炉　能耗分等

JB/T 5701　辊底式热处理炉　能耗分等

JB/T 5704　罩式热处理炉　能耗分等

JB/T 50162　热处理箱式、台车式电阻炉　能耗分等

JB/T 50163　热处理井式电阻炉　能耗分等

JB/T 50164　热处理电热浴炉　能耗分等

JB/T 50182　箱式多用热处理炉　能耗分等

JB/T 50183　传送式、震底式、推杆式、滚筒式热处理连续电阻炉能耗分等

3　术语和定义

GB/T 7232、GB/T 13324、GB/T 12723 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1　合格热处理件质量　mass of qualified heat teratment parts

在统计报告期（日、周、月、年）内由单项或数个热处理工序生产，经检验合格的热处理件的质量，其单位为千克（kg）。

3.2　热处理工艺燃料消耗　fuel consumption of heat treatment process

在统计报告期（日、周、月、年）内由单项或数个热处理工序生产的每千克合格热处理件质量所消耗的燃料，其单位为千焦每千克（kJ/kg）。

3.3　标准工艺燃料消耗　fuel consumption of standard heat treatment process

将中碳钢或中碳合金结构钢在额定装载量下于 830℃ ~850℃的箱式燃料炉中施行热装炉加热，连续三班生产的淬火工艺燃料消耗定为标准工艺燃料消耗，符号为 R_b，其单位为千焦每千克（kJ/kg）。

4　总则

4.1　热处理生产用的各式燃料炉应达到 JB/T 5644、JB/T 5701、JB/T 5704、JB/T 50162、JB/T 50163、JB/T 50164、JB/T 50182、JB/T 50183 的三等（含）以上水平。

4.2　参照 GB/T 5623 以数理统计法对热处理生产燃料消耗进行计算，采用实测法进行燃料消耗的管理。

4.3　本标准中的燃料是指各种气体燃料和液体燃料，不包括固体燃料（煤、焦炭等）。

5　热处理工艺燃料消耗的计算

5.1　标准工艺燃料消耗 R_b 为 1900kJ/kg，其计算依据见附录 A。

5.2　以标准工艺燃料消耗为基数，根据不同热处理工艺的特点及实施条件，并结合有关统计数据计算各种热处理工艺燃料消耗，按式（1）进行计算：

$$R_i = R_b K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \tag{1}$$

式中　R_i——某一热处理工艺燃料消耗（kJ/kg）；

R_b——标准工艺燃料消耗（kJ/kg）；

K_1——热处理工艺折算系数，按表 1 确定；

K_2——加热方式系数，按表 2 确定；

K_3——热处理生产方式系数，按表 3 确定；

K_4——工件材料系数，按表 4 确定；

K_5——燃料炉装载系数，按表 5 确定。

表 1　常用热处理工艺折算系数 K_1

热处理工艺	折算系数 K_1	热处理工艺	折算系数 K_1
淬火	1.0	退火	1.1
正火	1.1	球化退火	1.3

（续）

热处理工艺	折算系数 K_1	热处理工艺	折算系数 K_1
去应力退火	0.6	气体渗碳（渗层深 1.5～3.0mm）	3.5
不锈钢固溶处理	1.8	气体渗碳、淬火、回火（渗层深＜1.5mm）	3.2
高温回火（＞500℃）	0.6	气体渗碳、淬火、回火（渗层深 1.5～3.0mm）	4.2
中温回火（250～500℃）	0.5	气体碳氮共渗（渗层深 0.6mm）	1.7
低温回火（＜250℃）	0.4	气体氮碳共渗	0.7～0.8
时效（固溶处理后）	0.4	气体渗氮	2.5
气体渗碳（渗层深＜1.5mm）	2.5	火焰淬火	0.5

表 2　燃料消耗加热方式系数 K_2

加热方式	周期炉	连续炉	气氛炉	浴炉[①]	流态炉
系数 K_2	1.0	0.9	1.1	2.0	1.6

① 浴炉按一般生产习惯不加炉盖。

表 3　热处理生产方式系数 K_3

生产方式	一班	二班	三班
系数 K_3	1.6	1.4	1.0

表 4　工件材料系数 K_4

工件材料	低中碳钢或低中碳合金结构钢	合金工具钢	高合金钢	高速钢
合金元素总含量（%）	≤5	5～10	≥10	—
系数 K_4	1.0	1.2	1.6	3.0

表 5　燃料炉装载系数 K_5

装载方式	＜30%额定装载量	30%～＜50%额定装载量	50%～＜80%额定装载量	≥80%额定装载量
系数 K_5	1.6	1.4	1.2	1.0

注：火焰淬火按 $K_5=1$ 计。

6　热处理综合工艺燃料消耗的计算方法

对包含有多种热处理工艺的热处理车间，其综合工艺燃料消耗按式（2）计算：

$$R_z = R_1T_1 + R_2T_2 + R_3T_3 + \cdots + R_nT_n \tag{2}$$

式中　R_z——热处理综合工艺燃料消耗（kJ/kg）；

R_1、R_2、R_3、…、R_n——各种热处理工艺燃料消耗（kJ/kg）；

T_1、T_2、T_3、…、T_n——各种热处理工艺处理的合格热处理件质量占总合格热处理件质量的百分比。

7　热处理工艺燃料消耗的测定方法

7.1　测定条件

测试应在燃料炉处于正常生产运行工况下进行，符合 GB/T 15318、GB/Z 18718 和 GB/T 30824 相关要求。

7.2　测定方法

7.2.1　按 GB/T 30824 规定的方法和周期测定燃料炉的炉温均匀性。

7.2.2　按 GB/T 5623 规定的方法测定在统计报告期内进行单项工序生产时实际的燃料消耗及合格热处理件质量。

7.2.3　按公式（3）计算出该项热处理工艺的实际燃料消耗：

$$R_{si} = Q_{si}/m_i \tag{3}$$

式中　R_{si}——第 i 项工序实际热处理工艺燃料消耗（kJ/kg）；

Q_{si}——第 i 项工序生产时实际的燃料消耗（kJ）；

m_i——第 i 项工序生产的合格热处理件质量（kg）。

8 热处理工艺燃料消耗管理

8.1 单项热处理工艺实际燃料消耗

8.1.1 按7.2规定的测定方法，计算该项热处理工艺的实际燃料消耗 R_{si}。

8.1.2 按公式（1）的计算方法，计算该批合格热处理件应达到的热处理工艺燃料消耗 R_i。

8.1.3 当 $R_{si} \leq R_i$ 时，视为合格。

8.2 热处理综合工艺实际燃料消耗

8.2.1 按7.2规定的测定方法，分别计算各个单项热处理工艺的实际燃料消耗 R_{s1}，R_{s2}，R_{s3}，…，R_{sn}。

8.2.2 按公式（2）计算该批合格热处理件应达到的热处理综合工艺燃料消耗 R_z。

当 $R_{s1}T_1 + R_{s2}T_2 + R_{s3}T_3 + \cdots + R_{sn}T_n \leq R_z$，视为合格。

附 录 A

（规范性附录）

标准工艺燃料消耗确定依据

A.1 燃料炉的热效率确定依据

电阻炉的热效率在满负荷生产时可达80%，电是二次能源，热电厂的发电效率平均为35%，故实际能源利用率只有80%×35%=28%。通常1kW·h电需10258kJ的燃料，燃烧炉用的气体或液体燃料是一次能源，按不同使用条件，实际热效率可达到25%~65%，取其中间值42%。

A.2 标准工艺燃料消耗的确定

以中碳钢、中低碳合金结构钢加热到830~850°C淬火的单位燃料消耗为基准工艺燃料消耗。电阻炉加热时标准工艺电能消耗 N_b = 0.28kW·h/kg，折算成热电厂发电所需燃料 R = 0.28×10258kJ/kg≈2872kJ/kg。由于燃烧炉实际热效率比电阻炉约高33%，也就是可节约1/3的燃料，故取 R_b = 1900kJ/kg。

附 录 B

（资料性附录）

燃料的物理化学性质

各种气体和液体燃料的物理化学性质列于表B.1和表B.2。

表B.1 气体燃料的物理化学性能

序号	气体燃料	密度			常压下的沸点/°C	发热值/(kJ/m³)	液体化/(m³/L)	气量/(m³/kg)	蒸气压力/atg①			在高温下的爆炸范围（燃气的体积分数）			最低着火温度/°C	完全燃烧所需空气与天然气比例
		相对密度(空气=1)	液态密度/(kg/L)	气态密度/(g/L)					-18°C	21°C	38°C	下限	上限	范围		
1	甲烷	0.554	—	—	-162	37704	—	—	—	—	—	5.00	15.00	10.00	623	9.25
2	丙烷	1.520	0.510	—	-42	96976	0.278	0.583	1.68	7.85	13.72	2.10	10.10	8.00	481	23.82
3	丁烷	2.070	0.575	—	-11.7~-0.6	125818	0.238	0.408	-0.28	1.89	3.85	1.86	8.41	6.55	441	30.47
4	工业丙烷	—	—	1.95	—	88616	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	工业丁烷	—	—	2.51	—	110352	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	天然气	—	—	0.82	—	39459	—	—	—	—	—	4.90	15.00	10.10	550~750	10.47

（续）

序号	气体燃料	密度			常压下的沸点/°C	发热值/(kJ/m³)	液体化/(m³/L)	气量/(m³/kg)	蒸气压力/atg①			在高温下的爆炸范围（燃气的体积分数）			最低着火温度/°C	完全燃烧所需空气与天然气比例
		相对密度(空气=1)	液态密度/(kg/L)	气态密度/(g/L)					−18°C	21°C	38°C	下限	上限	范围		
7	发生炉煤气	—	—	1.10	—	5246	—	—	—	—	—	6.50	36.00	29.50	—	1.23
8	高炉煤气	—	—	1.31	—	3428	—	—	—	—	—	35.00	74.00	39.00	—	0.68
9	焦炉煤气	—	—	0.57	—	20210	—	—	—	—	—	5.60	30.40	24.80	—	4.99
10	水煤气	—	—	0.90	—	9280	—	—	—	—	—	6.00	70.00	64.00	—	2.01
11	氨	0.590	0.610	—	—	16636	0.860	1.411	1.10	7.98	13.80	16.00	27.00	11.00	780	3.57
12	氢	0.069	—	—	−253	12456	—	—	—	—	—	4.00	74.20	70.20	574	2.38

① atg为表压力，1at=98.0665kPa。

表B.2　液体燃料的物理化学性能

项目			燃料油①								轻柴油②						
			1号	2号	4号轻	4号	5号轻	5号重	6号	7号	10号	5号	0号	−10号	−20号	−35号	−50号
运动黏度/(m^2/s)	40°C	≥	1.3	1.9	1.9	5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		≤	2.1	3.4	5.5	24.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	100°C	≥	—	—	—	—	5.0	9.0	15.0	—	—	—	—	—	—	—	—
		≤	—	—	—	—	8.9	14.9	50.0	18.5	—	—	—	—	—	—	—
	50°C		—	—	—	—	—	—	—	—	3.0~8.0				2.5~8.0	1.8~7.0	
灰分(体积分数,%)			—	—	0.05	0.10	0.15	0.15	—	—	≯0.01						
硫含量(质量分数,%)			—	—	0.05	0.10	0.15	0.15	—	—	≯0.035						
闪点(闭口)/°C		≥	38			55			60	—	55					45	
闪点(开口)/°C		≥	—	—	—	—	—	—	—	130	—						
凝点/°C			—	—	—	—	—	—	—	—	10	5	0	−10	−20	−35	−50
水分(质量分数,%)			—	—	—	—	—	—	—	—	痕迹						

① 参见SH/T 0356—1996《燃料油》。

② 参见GB 252—2011《普通柴油》。

第六节　金属热处理生产过程安全、卫生要求

一、概论

生产过程的安全卫生问题直接关系到生产者的人身安全、健康，厂房、设备和物资的安全。各种生产过程都需要有安全卫生标准来对人和物提出安全要求，以指导人们正确操作，保证人身财产的安全。我国《标准化法》将保障人体健康，人身、财产安全的标准列为强制性标准，是生产过程中必须遵循的规范。《金属热处理生产过程安全、卫生要求》就是规定了保证热处理生产过程安全卫生的基本要求，直接关系到从事热处理生产人员的人体健康和设备的安全，是热处理标准体系

表中的一项强制性标准。因此，认真贯彻本标准是热处理工作者的一项重要任务，有着重要的现实意义。本标准制定于 1995 年，2004 年进行了第 1 次修订，2012 年进行了第 2 次修订。

本标准的基本特点是突出了在热处理生产过程中存在和产生于生产物料、剩余物料、设备、场地和工艺过程中的危险和有害因素，事故预防和处置，排除危险和有害因素的技术措施和管理措施。

二、标准应用说明

1. 主要内容

本标准规定了热处理生产过程中安全、卫生的通用技术要求。首先列出了热处理过程中常见的危险因素和有害因素，明确了热处理过程中影响安全卫生的主体；其次对热处理生产过程中可能影响安全卫生的因素做了详细的要求，这些要求明确规定了如何应对和防止热处理生产过程中的安全卫生问题。热处理生产过程中可能影响安全卫生的主要因素有：①热处理厂房建设和作业环境；②生产物料和剩余物料；③生产装置；④热处理工艺作业；⑤安全、卫生防护技术措施以及管理措施等。

本标准适用于热处理生产和为热处理生产提供生产装置，以及与热处理生产有关的新技术和新产品开发、技术引进、长远规划、工厂设计和技术改造。

2. 与原标准的主要差异

与原标准的主要差异，下面按标准中的各个章节进行逐一介绍。

（1）规范性引用文件

1）增加引用了如下标准 GB 2893、GB 5959. 3、GB/T 10067. 3、GB 7231 和 GB/T 15236；删除了 GB/T 4064（已作废）、GB 8978、GB 9078、GB/T 6067、JB/T 5073 和 JB/T 9052。

2）对引用标准进行了重新排序：标准号由小到大排列。

（2）热处理生产中的危险、有害因素。标准中表 1 的修改如下：

1）在“毒性物质”中增加了“甲苯、二甲苯、甲酰胺、三乙醇胺”。

2）将“高压电”中的“高频设备和中频设备”改为“感应设备”。

3）将“炽热物体及腐蚀性物质”中“1 高温炉”改为“1 加热炉”。

（3）热处理厂房和作业环境。标准中“5. 1 厂房建设”修改如下：

1）将“5. 1. 1……但要用隔墙隔开。”改为：“5. 1. 1……但要采取隔离措施。”修改理由：更有利于企业的执行，同时也起到了相当的效果。

2）将 5. 1. 2 的内容改为“生产装置地基应满足相应承载、震动等要求，地基内不得渗出地下水，并设有集水坑，水灾易发地区应增加自动排水装置。”修改理由：原标准 5. 1. 2 对实际生产意义不大，而新增条款对设备和人的安全有重要意义。

3）将 5. 1. 3 的内容改为：“5. 1. 3 地面强度应满足生产组织、物料储运等的承载要求，地面材料应满足耐热、耐蚀、耐冲击等要求。”修改理由：原标准中所述地面强度参数在实际中检测困难，实用性差。

4）将原标准中“5. 1. 4 厂房要有足够的高度，并合理设置天窗。”改为“5. 1. 4 厂房要有足够的高度，并合理设置天窗和通风系统，满足通风和采光要求。”修改理由：原标准中无“通风”项，而“通风”对热处理车间是很重要的。

5）将原标准中“5. 1. 6 氰盐浴、高频设备、中频机组、激光、喷丸和喷砂等设备应隔成独立的房间，并应能满足危险工作区域的特殊要求。”其中 5. 1. 6 中的“氰盐浴”删除，“高频设备、中频机组”改为“感应设备”，“房间”改为“区域”，增加了“电子束、等离子束”。修改理由：表述更准确。

6）原标准“5.1.7 气体分配站、液氨、液化石油气储罐应放在车间外部的专用房间内，此房间应根据其储存量来规定存放地与车间的距离（容积越大，与车间距离越远）。”改为：“5.1.7 液氨、液化石油气、丙烷、丁烷等危险化学生产物料的存储和放置区域应符合国务院《危险化学品安全管理条例》。”修改理由：符合《危险化学品安全管理条例》使得相关危险品管理正规化、更安全、有据可依。

7）作为热处理行业的强制性标准，原标准 5.1.8 的要求对安全卫生没有太大的影响，原标准中 5.1.9 的要求对于很多热处理企业都很难实现，故删除。

8）原标准“5.1.10 地坑内不得渗出地下水，井式炉和油槽的地坑应彼此隔开。”改为“5.1.8 加热装置和淬火油槽的地坑应彼此隔开，地坑的壁面和坑底应采取有效地防水渗漏措施，在坑底设置排水坑，必要时，应设置自动排水装置，同时，坑槽面应铺设安全盖板。”修改理由：表述更全面。

9）将原标准中“5.1.11”改为“5.1.9 厂房内的天然气、液化石油气、氨气、丙丁烷等危险性生产原料气的输送管道应沿墙架空，保持一定的安全距离，稳固铺设。”同时删除了表 3。修改理由：管道架空，更有利于安全；表 3 没有太大的实际意义。

10）删除原标准中 5.1.14，增加“5.1.12 厂房内部应设置集中的有效的接地装置，以确保用电设备的安全使用。”修改理由：原标准中 5.1.14 对安全的影响不大，同时增加 5.1.12 对人的安全有重要意义。

标准中“5.2 作业环境”修改如下：

1）将原标准中 5.2.1 内容改为“工作场所应具备足够的通风。”将原标准中 5.2.2 内容改为“热处理车间中有害因素应符合相关法律和法规的有关规定。”

2）将原标准中 5.2.3 和 5.2.4 合并成“5.2.3 各操作工位的光照度要求分为一般照明、局部照明和混合照明，同时厂房应备有应急照明灯。”修改理由：都是关于“照明”。

3）将原标准中 5.2.5 和 5.2.6 合并成“5.2.4 车间内生产设备、物料存放地点的布置应方便人员操作，并设有足够宽度的人行通道和车行通道。设备至墙壁间的距离，设备与设备之间的距离应有足够的间距。”修改理由：删除具体的距离要求，这样更有利于实施。

4）热处理工作环境主要应规定通风、噪声、照明、排气、现场布置等方面，有标准的要依据相关标准。所以，增加“5.2.5 对有烟气排放的设备，应设置专门的排烟管道或油烟处理装置，烟气要达标排放。”

5）删除原标准“5.2.7”，原因是地坑的要求应有更完善的表述，如标准中表 1 的“限制区域”和 9.6。

6）将原标准中 5.2.8 的内容改为“5.2.6 对可能危及人身安全的设备或区域应符合 GB 2893、GB 2894 规定。”

（4）生产物料和剩余物料。标准中“6.1 生产物料”修改如下：

1）因氰盐、钡盐、氟利昂有剧毒，不宜采用，所以在 6.1.1 条中删除。

2）将 6.1.2 修改成“应优先采用无危害的生产物料，严格限制使用有剧毒的氰盐、钡盐作为热处理生产物料”。

3）删除 6.1.4。修改理由：不宜实施。

标准中“6.2 剩余物料”修改如下：

1）删除 6.2.1 中的氰盐、钡盐。修改理由：有剧毒，不宜采用。

2）因新标准 5.2.2 的内容包括了工作场地空气中的有害物质的最高容许浓度，所以删除 6.2.2 和表 6 的内容。

3）因国标不允许采用行标，所以将原标准中 6.2.3 改为“6.2.2 危险和有害的剩余物料应严

格执行 GB/T 27945.1 ~ GB/T 27945.3 的规定”。

（5）生产装置。标准中“电阻炉”部分修改如下：

1）“7.1 电阻炉”改为“7.2 电阻炉”。

2）删除原标准中 7.1.1 的内容，将原标准“7.1.2”改为“7.2.1 电阻炉应符合 GB 5959.1 和 GB 5959.4 的有关规定。”

3）将 7.2.2 重新补充一条要求“电阻炉加热区内应至少有一支热电偶用于超温保护。”

4）对安全防爆还可以采取其他方式，所以将原标准“7.1.5”内容改为“7.2.5 可控气氛多用炉淬火室应设安全防爆装置，炉门应设防护装置”。

5）增加：“7.2.7 ~ 7.2.10。修改理由：增加了防爆和故障报警，更有利于安全。

标准中“燃料炉”部分修改如下：

1）将原标准中“7.2 煤气炉和重油炉”，改为“7.3 燃料炉”。

2）将“7.2.1”内容改为“7.3.1 燃料管道应设总阀门，每台设备上应设分阀门”。

3）原标准 7.2.3 中的内容是关于噪音、气体排放和气体混合均匀性的要求，与“第 7 章生产装置”要求的关联度不大，所以将其删除。

本标准中“盐浴炉”部分修改如下：

1）将原标准中 7.3.1 分成两条，7.4.1 和 7.4.2，同时在 7.4.2 中加入：“同时至少应有 2 支热电偶，1 支偶控温，1 支偶监控。”

2）将原标准中的 7.3.4 内容改为“7.4.4 炉膛底部应设放盐孔，并设应急用的干燥的熔盐收集器。”

标准中“感应加热炉”部分的修改为：增加“7.5.1 感应加热装置应符合 GB 5959.3 和 GB/T 10067.3 的要求。”

标准中“等离子体热处理设备”

1）将原标准中“7.5 离子渗氮设备”改为“7.6 等离子热处理设备”，

2）将原标准中的“7.5.1 阴极直流高压……”改为“7.6.1 等离子直流高压……”

3）将原标准 7.5.2 改为“7.6.2 应有可靠的密封系统，排除的废气应处理达标排放。”

标准中“热处理冷却装置”部分的修改如下：

1）将原标准中 7.8、7.9 合并为“7.9 热处理冷地装置”。

2）将原标准 7.8.1 内容改为：“7.9.1 等温分级淬火和回火油槽应配备加热、冷却、搅拌和循环装置。”

3）增加 7.9.2。

4）将原标准中的“7.8.2……的闪点低 50°C 以上。”改为“7.9.3……的开口闪点低 80°C 以上。”

5）将原标准中的“7.9.1”改为：“7.10.1”，“7.9.2”改为：“7.10.2”。

标准中“热处理辅助装置”部分的修改如下：

1）将原标准中 7.10 ~ 7.14 改为“7.11 热处理辅助装置”，并调整了相关条目。

2）将原标准 7.11.1 改为“7.11.2.1 应采用无危害的清洗剂。”

3）增加 7.11.5.3 ~ 7.11.5.6。

（6）热处理工艺作业。标准中“8.1 一般要求”修改如下：

1）删除原标准中 8.1.1 和 8.1.5。修改理由：8.1.1 是对操作人员的要求，与“10.2 人员”中相关要求重复。8.1.5 是对起重机械、吊具吊绳的要求，应属于“7.11 热处理辅助设备”，因此在 7.11 中做相应的规定。

2）将原标准中“8.1.2 操作人员应穿戴必需的劳动保护用品。”改为“8.1.1 操作人员应穿戴

适宜的个体防护用品”。

3）为表述更准确，将原标准中“8.1.3”的内容改为“8.1.2 各种加热炉的使用温度不得超过额定最高使用温度，最大装炉量（包括工装、夹具）不得超过规定的最大装炉量”。

4）将原标准中“8.1.4”内容改为“8.1.3 操作前必须认真检查设备的电气、测量仪表、机械保护装置，严禁设备带故障工作。”

5）将原标准中“8.1.6”内容改为“8.1.4 工作场地应保持清洁、整齐和有序”。

本标准中“8.2 整体热处理”修改如下：

1）将原标准中“8.2.1”第一段内容删除。

2）将原标准中“8.2.2”的内容改为“人工操作进出料的简易箱式电炉、井式电炉装炉、出炉过程中应切断加热电源。”

3）将原标准中的“8.2.3”内容修改为“可控气氛、保护气氛加热炉在通入可燃生产物料前应用中性气体充分置换掉炉内空气，或在高温条件下以燃烧法燃尽炉内的空气”；同时因表 8 在实际操作中实用性不强，所以将表 8 删除。

4）删除原标准中 8.2.4 和 8.2.5，原因是 7.1.7 ~ 7.1.10 已做规定。

5）将原标准中“8.2.6”内容分别改为“8.2.4 往炉内通入可燃生产原料时，排气管或各炉门口的引火嘴应正常燃烧。”和“8.2.5 设备使用中不得人为打开或检修设备安全保护装置。若需检修，应停止向炉内通入可燃生产原料，并确认炉内可燃气氛已燃尽或已充分置换完成后，方可操作。”

6）将原标准中“8.2.7 中 a）工艺要求在炉温低于 760°C 向炉内送入可燃气体。”改为“8.2.6 中 a）工艺要求在炉温低于 750°C 向炉内送入可燃气体前。”

7）将原标准中“8.2.8”内容改为：“8.2.7 停炉期间，为防止可燃气向炉内慢速地渗漏，应在每一管路上设置两处以上关闭阀或开关。”

8）将原标准中“8.2.9 淬火吊车应有备用电源。”归入到“7.11 热处理辅助设备”中。

标准中“8.3 表面热处理”修改如下：

1）表面热处理是指通过对钢件表面的加热、冷却而改变表层力学性能的金属热处理工艺，分为表面淬火和化学热处理两大类。因此，将原标准中的“8.3 表面处理”和“8.4 化学热处理”合并成“8.3 表面热处理”，同时设置“8.3.1 表面淬火”和“8.3.2 化学热处理”。

2）因感应加热包括高频、中频和工频感应加热，所以将 8.3.1 ~ 8.3.4 中的“高、中频”改为“感应”。

3）将原标准“8.3.7”改为“8.3.1.6 火焰淬火用来输送氧气、乙炔气的软管应采用耐压胶管，胶管的颜色应符合 GB 7231 的有关规定……”。

4）将原标准“8.3.8”改为“8.3.1.7 火焰淬火的每一淬火工位的乙炔管路中都应设管路回火逆止器，并应定期清理。”

5）将原标准“8.3.9”改为“8.3.1.8 激光热处理时工件表面一般应预先涂刷吸光涂层……”

6）将原标准“8.4.2”改为：“8.3.2.2……停炉时应先在高温阶段停气，然后打开双炉门，使炉内可燃气体烧尽。在以上两种情况下开启炉门的瞬间，操作人员均不得站在炉门前。”

7）将原标准“8.4.3 气体渗碳、气体碳氮共渗和氮碳共渗时，炉内排出的废气必须点燃。”改为：将“8.3.2.3 气体渗碳、气体碳氮共渗和氮碳共渗时，炉内排出的废气应燃烧处理后达标排放。”

8）为表述更准确，所以将原标准“8.4.4”改为：“8.4.2.4 渗氮炉应先切断原料气源并用中性气体充分置换炉内可燃气体，在无明火条件下方可打开炉门（罩）”。

标准中“8.4 盐浴热处理”修改如下：

1）将“8.5 盐浴热处理”改为“8.4 盐浴热处理”，将“8.5.1～8.5.3”改为“8.4.1～8.4.3”。

2）删除原标准 8.5.2 中“添加的新盐”。

3）增加“8.4.4～8.4.7”。增加理由：增加了关于防爆、防火和防毒的相关要求，使得相关内容更完善，对安全的指导意义更强）

标准中“8.5 真空热处理”修改如下：

1）将原标准“8.6.1”改为：“8.5.1 通电前应测量电热元件对地（炉壳）的绝缘电阻值，在炉体的通水情况下，应不低于 1kΩ 时方可送电。”修改理由：与 GB/T 22561—2008 真空热处理要求一致。

2）将原标准“8.6.3……不得有漏气现象。”改为“8.5.3……不得有泄漏现象。”

3）为表述更准确，将原标准“8.6.4”改为“8.5.4……而停泵时扩散泵油应完全冷却后方可停止排气”。

4）增加“8.5.7 真空油淬炉冷却室内油气排空之前，严禁充入空气或打开炉门。”修改理由：对真空炉要求的完善。

因为第 8 章是对热处理工艺作业的要求，而“校直”应不属于工艺要求，所以，删除原标准中“8.7 校直”。

（7）安全、卫生防护技术要求。此部分的修改如下：

1）将原标准中 9.3 防火防爆中，增加“……必要时应设置危险气体泄漏报警仪。”

2）增加“9.6 密闭空间”和“9.7 设备维修”。同时将原标准中“9.6”改为“9.8”。

3. 国内外情况对比分析

在金属热处理生产过程安全卫生要求方面，国内外都有不少的相关标准和规范，美日等工业发达国家对热处理生产过程安全卫生均有明确的规定，执行的标准较高，且政府对生产过程安全卫生要求执行力度也非常的高。我国对生产过程安全卫生十分重视，制定颁布了一系列国家标准和政策法规，如 GB 5959.1—2005《电热装置的安全　第 1 部分：通用要求》、GB 5959.4—2008《电热装置的安全　第 4 部分：对电阻加热装置的特殊要求》、GB 12348—2008《工业企业厂界噪声排放标准》等，这些标准都对热处理生产过程中的某一方面或某几个方面做了相应的规定，缺乏对热处理整个生产过程安全卫生要求的规定。本标准与这一系列国家标准相配套，它是我国金属热处理行业中强制性国家标准之一。

4. 标准的作用和实施

本标准针对热处理生产过程中存在的危险、危害因素和有害程度进行了分析和评价，并确定了相关的安全卫生考核指标，并从技术和管理方面提出一系列对策和控制措施，以达到生产系统安全卫生的要求。但是本标准只能是一个综合性的安全卫生要求，不能对各类产品、各种生产条件的热处理工厂、车间、工段的安全卫生事项做详细规定，各单位应据此按本单位的实际情况，制定热处理生产的具体安全规程和相应的安全管理制度。

5. 预期达到的社会效益、推广应用前景和标准实施风险分析

作为我国金属热处理行业中一项强制性国家标准，相关的热处理组织必须严格执行，对减少金属热处理生产过程中的安全事故、减少环境污染、保障员工身体健康、履行企业社会责任和构建和谐社会均有重大意义。本标准修订实施后，通过行业组织和各级安全监督、环境保护机构的宣传推广，将进一步提高全体热处理组织员工的安全卫生意识，更好地保障员工的安全，全面提高热处理组织的管理水平，保证企业生产过程的长期安全。（江苏丰东热技术股份有限公司向建华供稿）

三、标准内容（GB 15735—2012）

金属热处理生产过程安全、卫生要求

1　范围

本标准规定了热处理生产过程中安全、卫生的通用技术要求。

本标准适用于热处理生产和为热处理生产提供生产装置以及与热处理生产有关的安全、卫生。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 2893　安全色

GB 2894　安全标志及使用导则

GB 5083　生产设备安全卫生设计总则

GB 5959.1　电热装置的安全　第1部分　通用要求

GB 5959.3　电热装置的安全　第3部分　对感应和导电加热装置以及感应熔炼装置的特殊要求

GB 5959.4　电热装置的安全　第4部分　对电阻加热装置的特殊要求

GB 7231　工业管道的基本识别色、识别符号和安全标识

GB/T 10067.3　电热装置基本技术条件　第3部分：感应电热装置

GB/T 10067.4　电热装置基本技术条件　第4部分：间接电阻炉

GB/T 11651　个体防护装备选用规范

GB/T 12801　生产过程安全卫生要求总则

GB/T 15236　职业安全卫生术语

GB/T 27945.1　热处理盐浴有害固体废物的管理　第1部分：一般管理

GB/T 27945.2　热处理盐浴有害固体废物的管理　第2部分：浸出液检测方法

GB/T 27945.3　热处理盐浴有害固体废物的管理　第3部分：无害化处理方法

GB/T 27946　热处理工作场所空气中有害物质的限值

《危险化学品安全管理条例》国务院令第591号（2011.12.01实施）

3　术语和定义

GB/T 15236所界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1　危害因素　hazardous factors

能对人造成伤亡或对物质造成突发性损坏的因素。

3.2　有害因素　harmful factors

能影响人的身心健康，导致疾病（含职业病），或对物造成慢性损坏的因素。

3.3　生产物料　production materials

生产需要的原料、材料、燃料、辅料和半成品。

3.4　剩余物料　waste materials

生产过程中的余料和生产过程产生的废品、废料，包括气态、液态和固态物质。

3.5　生产装置　production installation

生产需要的设备、设施、工机具、仪器仪表等各种劳动资料。

4　热处理生产的危险因素和有害因素

4.1　热处理生产常见的危险因素

热处理生产常见的危险因素有：易燃物质、易爆物质、毒性物质、高压电、炽热物体及腐蚀性物质、致冷剂、坠落物体或进出物、限制区域等。其来源和危害程度见表1。

表1　热处理生产常见的危险因素

类　别	来　源	危害程度
易燃物质	1. 淬火和回火用油 2. 有机清洗剂 3. 渗剂、燃料和制备可控气氛的原料：煤油、甲醇、乙醇、乙酸乙酯、异丙醇、丙酮、天然气、丙烷、丁烷、液化石油气、发生炉煤气、氢等	1. 油温失控超过燃点即自行燃烧，易酿成火灾 2. 有机液体挥发物和气体燃料泄出后遇明火即燃烧
易爆物质	1. 熔盐 2. 固体渗碳剂粉尘 3. 渗剂、燃料、可控气氛 4. 火焰淬火用氧气和乙炔气 5. 高压气瓶、储气罐	1. 熔盐遇水即爆炸，硝盐浴温度超过600°C或与氰化物、碳粉、油脂接触即爆炸 2. 燃气、碳粉在空气中的浓度达到一定极限值遇明火即爆炸 3. 气瓶、储罐遇明火或环境温度过高易爆炸
毒性物质	1. 液体碳氮共渗、氮碳共渗和气体氮碳共渗用的原料及排放物：氰化钠、氰化钾、氢氰酸、甲苯、二甲苯、甲酰胺、三乙醇胺 2. 气体渗碳的排放物：一氧化碳 3. 盐浴中的氯化钡、亚硝酸钠和钡盐渣	造成急慢性中毒或死亡
高压电	1. 感应设备 2. 一般工业用电	电击、电伤害甚至死亡
炽热物体及腐蚀性物质	1. 加热炉 2. 炽热工件、夹具和吊具 3. 热油、熔盐 4. 激光束 5. 硫酸、盐酸、硝酸、氢氰化钠、氢氧化钾	1. 热工件、热油、熔盐和强酸、强碱使皮肤烧伤 2. 激光束使皮肤及视网膜烧伤
致冷剂	氟利昂、干冰酒精混合物、液氮	造成局部冻伤
坠落物体或进出物	1. 工件装运、起吊 2. 工件校直崩裂 3. 工件淬裂	造成砸伤或死亡
限制区域	1. 封闭炉膛 2. 炉坑 3. 储油罐 4. 油槽	缺氧、窒息、中毒或死亡

4.2　热处理生产常见的有害因素

热处理生产常见的有害因素有：热辐射、电磁辐射、噪声、粉尘和有害气体等。其来源和有害程度见表2。

表2　热处理生产常见的有害因素

类　别	来　源	危害程度
热辐射	1. 高温炉 2. 炽热工件、夹具和吊具	造成疲劳、中暑、衰竭

（续）

类　　别	来　　源	危 害 程 度
电磁辐射	高频电源	造成中枢神经系统功能障碍和植物神经失调
噪声	1. 喷砂、喷丸 2. 加热炉的燃烧器 3. 真空泵、压缩机和通风机 4. 中频发电机 5. 超声波清洗设备	长期处于高强度噪声（>90dB）会造成听力下降
粉尘	1. 喷砂时的石英砂、喷丸时的粉尘 2. 浮动粒子炉的石墨和氧化铝粉 3. 固体渗剂	长期处于高浓度粉尘作业会引起矽肺
有害气体	1. 盐浴炉烟雾 2. 甲醇、乙醇蒸气、氨气、丙烷、丁烷、甲烷、一氧化碳等泄漏气体 3. 强酸、强碱的挥发物 4. 油蒸气 5. 氟利昂、三氯乙烯、四氯化碳等挥发物	造成慢性伤害、引发各种慢性疾病

5　热处理厂房和作业环境

5.1　厂房建设

5.1.1　厂房应建成独立的建筑物，也可建在大型厂房的一端或一侧，但要采取隔离措施。

5.1.2　生产装置地基应满足相应承载、震动等要求，地基内不得渗出地下水，并设有集水坑，水灾易发地区应增加自动排水装置。

5.1.3　地面强度应满足生产组织、物料储运等的承载要求，地面材料应满足耐热、耐蚀、耐冲击等要求。

5.1.4　厂房要有足够的高度，并合理设置天窗和通风口，满足通风和采光要求。

5.1.5　厂房内和产生危害物质的区域如浴炉、淬火槽、清洗槽、废气燃烧排放口等处应有足够能力的排风装置。

5.1.6　感应设备、激光束、电子束、等离子束、喷丸和喷砂等设备应隔成独立的区域，并应能满足危险工作区域的特殊要求。

5.1.7　液氨、液化石油气、丙烷、丁烷等危险化学生产物料的存储和放置区域必须符合国务院《危险化学品安全管理条例》。

5.1.8　加热装置和淬火油槽的地坑应彼此隔开，地坑的壁面和坑底应采取有效地防水渗漏措施，在坑底设置排水坑，必要时，应设置自动排水装置，同时，坑槽面应铺设安全盖板。

5.1.9　厂房内的天然气、液化石油气、氨气、丙烷、丁烷等危险性生产原料气的输送管道必须沿墙架空，保持一定的安全距离，稳固铺设。

5.1.10　厂房应设避雷装置。

5.1.11　厂房内必须设置足够数量的消防栓及灭火设备，安全疏散出口应能满足人员紧急疏散和消防车进入的要求。

5.1.12　厂房内部应设置集中的有效的接地装置，以确保用电设备的安全使用。

5.2　作业环境

5.2.1　工作场所要求应按 GB/T 27946 的规定，通风条件必须形成对流。

5.2.2　热处理车间中的有害因素应符合相关法律和法规的有关规定。

5.2.3　各操作工位的光照度要求分为一般照明、局部照明和混合照明，同时厂房应备有应急照明灯。

5.2.4　车间内生产设备、物料存放地点的布置应方便人员操作，通道宽度应便于车、人行驶。设备至墙壁间的距离，设备与设备之间的距离应有足够的间距。

5.2.5　对有烟气排放的设备，应设置专门的排烟管道或油烟处理装置，烟气要达标排放。

5.2.6　对可能危及人身安全的设备或区域必须设置安全标识，安全标识应符合 GB 2893、GB 2894 规定。

6　生产物料和剩余物料

6.1　生产物料

6.1.1　热处理生产中常用的危险和有害的生产物料主要有：

a）气体燃料；

b）各种可燃的制备气氛；

c）易燃的有机液体；

d）硝盐；

e）三氯乙烯。

6.1.2　应优先采用无危害的生产物料，严格按限制使用有剧毒的氰盐、钡盐作为热处理生产物料。

6.1.3　危险和有害的生产物料应按该产品的安全要求使用和保管。

6.2　剩余物料

6.2.1　热处理生产中产生的危险和有害的剩余物料主要有：

a）有毒的气体燃烧产物；

b）盐浴炉的蒸发气体；

c）泄漏的有毒气体和液体有机化合物；

d）带油脂和盐的淬火废液和清洗废液；

e）老化的淬火油；

f）硝盐的废盐及废盐渣；

g）流态粒子炉、喷砂、抛丸的粉尘。

6.2.2　危险和有害的剩余物料应严格执行 GB/T 27945.1 ~ GB/T 27945.3 的规定。

7　生产装置

7.1　一般要求

热处理车间使用的生产装置应符合 GB 5083 的有关规定。

7.2　电阻炉

7.2.1　电阻炉应符合 GB 5959.1 和 GB 5959.4 的有关规定。

7.2.2　电阻炉加热区内应至少有一支热电偶用于超温保护。

7.2.3　对于人工进出料操作的电阻炉应具备炉门（或炉盖）打开时的自动切断电热体和风扇电源的功能。

7.2.4　渗碳炉要有良好的密封性。井式炉炉压应不低于 200Pa，箱型和推杆型炉炉压不低于 20Pa。

7.2.5　可控气氛多用炉淬火室应设安全防爆装置，炉门应设防护装置。

7.2.6　通水冷却的电阻炉应安装水温、水压报警装置，当出现不正常情况时应能断电，并及时报警。

7.2.7　对于保护气氛和可控气氛炉应具备超温自动切断加热电源、低温自动停止通入生产原料气并报警的功能。

7.2.8　淬火室内应安装惰性气体（如氮气）应急通入口，并应保证充分流量。

7.2.9　整条生产线运行中所有相关动作都应设置电气安全联锁装置和相关程序互锁。

7.2.10　当设备发生故障或工艺参数异常时，应发出声光报警信号，可采取手动方式及时排除故障和修复工艺参数，必要时，可采用故障自诊断系统和远程监控系统。

7.3　燃料炉

7.3.1　燃料管道应设总阀门，每台设备上应设分阀门。

7.3.2　通入炉内的气、油管道要有压力调节阀、压力超高超低自动截止阀。在燃烧器前应有火焰逆止器。

7.4　盐浴炉

7.4.1　硝盐炉应用金属坩埚或用黏土砖砌筑炉衬。

7.4.2　硝盐炉应配备自动控温仪表和超过580°C的报警装置以及仪表失控时的主回路电源自动切断装置，同时至少应有2支热电偶，1支偶控温，1支偶监控。

7.4.3　等温和分级淬火硝盐炉应配备冷却和搅拌装置。

7.4.4　炉膛底部应设放盐孔，并设应急用的干燥的熔盐收集器。

7.5　感应加热装置

7.5.1　感应加热装置应符合GB 5959.3和GB/T 10067.3的要求。

7.5.2　高频设备必须屏蔽。其上的观察窗口应敷金属丝网，对裸露在机壳外的淬火变压器也应加以屏蔽。作业部位高频辐射的电场强度不超过20V/m，磁场强度不超过5A/m。

7.5.3　高压部分要有防触电的特别防护装置。当外壳门打开时，主回路电源应自动切断。

7.5.4　中频发电机应配备空载限制器，在出现较长间歇时仅使发电机负载断路，而不停止发电机运转。

7.5.5　控制按钮和开关要置于明显和容易触到的位置。同一台设备供给数个工作点时，可采用集中控制的工作台，但在每个工作点须设有急停按钮。

7.6　等离子体热处理设备

7.6.1　等离子直流高压的外露部分要有可靠的防护措施，炉体要接地。

7.6.2　应有可靠的密封系统，排出的废气应达标排放。

7.7　激光热处理设备

7.7.1　激光装置工作间的入口处应设红色警告灯。激光器的明显部位应标有“危险”标志。

7.7.2　激光装置的导光系统应有可靠的机、电、水、气安全联锁装置。

7.7.3　除加工工件外，激光装置的其他部位必须密封。

7.8　真空热处理设备

7.8.1　真空炉的排抽气系统中应配备与电源联锁的自动阀门。

7.8.2　设备应具有安全防爆装置。

7.8.3　所有排空装置应具有排气管道，并将气体排放到室外。

7.8.4　贮气罐应具有安全阀装置。

7.8.5　工件传递中的各个运行机构应有可靠的联锁保护装置。

7.8.6　控制柜应有电源急停装置。

7.9　热处理冷却装置

7.9.1　等温分级淬火和回火油槽应配备加热、冷却、搅拌和循环装置。

7.9.2　大型淬火油槽槽口四周还应设置氮气或二氧化碳灭火装置。

7.9.3　淬火油和回火油的工作温度至少应比其开口闪点低 80°C 以上。

7.9.4　油槽在非工作状态时，加热器发热体应安装在油面 150mm 以下。

7.10　冷处理装置

7.10.1　应防止制冷剂的泄漏。

7.10.2　设备上要有避免人身受到制冷剂伤害的保护装置。

7.11　热处理辅助设备

7.11.1　气体发生装置

7.11.1.1　气体燃料和制备气氛通常都是可燃气体，具有爆炸的危险。常用的可燃气体在规定的燃烧温度下，其空气中的浓度应不在表 3 规定的范围。

表 3　可燃气体和空气混合的爆炸范围和燃烧温度

气体类型	爆炸范围（燃气在空气中的体积分数,%）		燃烧温度/°C
	下限	上限	
氢	4.00	74.20	510 ~ 590
甲烷	5.00	15.00	650 ~ 705
丙烷	2.37	9.50	466 ~ 518
一氧化碳	12.50	74.20	610 ~ 658
吸热型气（20% CO,40% N_2,40% H_2）	8.50	71.80	—
氨气解气（25% N_2,75% H_2）	5.40	73.10	—

7.11.1.2　吸热型气体发生炉应配备大于 750°C 方能通气的安全控制系统。

7.11.1.3　吸热型、放热型和氨制备气体发生炉的管路都应安装火焰逆止器。

7.11.1.4　各种气体发生炉都应具备当用气量降至零时不影响其正常工作的措施。

7.11.1.5　用液氮作为制备气氛的原料时，氨的管路系统严禁用铜和铜合金材料制造。

7.11.1.6　放热型气氛发生炉如采用乙醇胺作为二氧化碳的吸收剂时，应考虑到乙醇胺对管路系统中金属材料的腐蚀性。

7.11.2　清洗设备

7.11.2.1　应采用无危害的清洗剂。

7.11.2.2　当超声清洗设备的声强超过 80dB 时应采取降低噪声的措施。

7.11.3　喷砂、喷丸设备

7.11.3.1　应优先采用湿法喷砂设备。

7.11.3.2　应有良好的除尘系统。

7.11.4　校正装置

应设有避免工件断裂伤人的防护装置，机动压力机应有压力限定装置。

7.11.5　夹具、工装及辅助设施

7.11.5.1　夹具、工装在热处理状态下应有足够的强度和刚度。

7.11.5.2　在高温状态下使用的工装，一般应选用耐热钢制造。

7.11.5.3　在所有机械传动裸露部分和电器接头裸露部都应安装防护罩。

7.11.5.4　炉体应设置固定扶梯，炉顶周围应设置脚踏板，方便操作人员炉顶工作，超过安全高度 2m 以上，应设置安全护栏。

7.11.5.5　淬火吊车应配备备用电源或其他应急装置。
7.11.5.6　对吊具和吊绳，应定期检查，强制更换。

8　热处理工艺作业

8.1　一般要求
8.1.1　操作人员必须穿戴适宜的个体防护用品。
8.1.2　各种加热炉的使用温度不得超过额定最高使用温度，最大装炉量（包括工装、夹具）不得超过规定的最大装炉量。
8.1.3　操作前应认真检查设备的电气、测量仪表、机械保护装置，严禁设备带故障工作。
8.1.4　工作场地应保护清洁，整齐和有序。
8.2　整体热处理
8.2.1　新安装和大修后的电阻炉应按 GB 10067.4 的规定，用 500V 兆欧表检测三相电热元件对地（炉壳）和各相相互间的绝缘电阻不得低于 0.5MΩ；控制电路对地（在电路不直接接地时）的绝缘电阻应不低于 1MΩ。均合格后方可送电。
8.2.2　人工操作进出料的简易箱式电炉、井式电炉装炉、出炉过程中应切断加热电源。
8.2.3　可控气氛、保护气氛加热炉在通入可燃生产物料前应用中性气体充分置换掉炉内空气，或在高温条件下以燃烧法燃尽炉内的空气。
8.2.4　往炉内通入可燃生产原料时，排气管或各炉门口的引火嘴应正常燃烧。
8.2.5　设备使用中不得人为打开或检修设备安全保护装置。若需检修，必须停止向炉内通入可燃生产原料，并确认炉内可燃气氛已燃尽或已充分置换完成后，方可操作。
8.2.6　在下列情况下，应向炉内通入中性气体或惰性气体（即置换气体）：

a）工艺要求在炉温低于 –750°C 向炉内送入可燃原料前；
b）炉子启动时或停炉前；
c）气源或动力源失效时；
d）炉子进行任何修理之前，中断气体供应线路时。

8.2.7　停炉期间，为防止可燃原料向炉内慢慢地渗漏，应在每一管路上设置两处以上关闭阀或开关。
8.3　表面热处理
8.3.1　表面淬火
8.3.1.1　感应设备周围应保持场地干燥，并铺设耐 25kV 高压的绝缘橡胶和设置防护遮拦。
8.3.1.2　严格按设备的启动顺序启动感应设备。当设备运转正常后方可进行淬火操作。
8.3.1.3　感应设备冷却用水的温度不得低于车间内空气露点的温度。
8.3.1.4　感应设备加热用的感应器不得在空载时送电。
8.3.1.5　氧-乙炔火焰淬火用的氧气瓶和乙炔气瓶在使用中应注意：

a）气瓶应与火源保持 10m 以上的距离，并应避免暴晒，热辐射及电击，气瓶之间的距离应保持在 5m 以上；
b）应有防冻措施，当瓶口结冻时可用热水解冻，严禁用火烤，不应用有油污的手套开启氧气瓶；
c）应装有专用的气体减压阀，乙炔的最高工作压力禁止超过 147kPa；
d）瓶中的气体均不应用尽。瓶内残余压力不应小于 98～196kPa。

8.3.1.6　火焰淬火用的软管应采用耐压胶管，胶管的颜色应符合 GB 7231 的有关规定，与乙炔接触的仪表、管子等零件，禁止使用纯铜或含铜量超过 70% 的铜合金制造。

8.3.1.7　火焰淬火的每一淬火工位的乙炔管路中都应设管路回火逆止器，并应定期清理。

8.3.1.8　激光热处理时工件表面一般需预先涂刷吸光涂层，但禁止使用燃烧时产生油烟及反喷物的涂料。

8.3.2　化学热处理

8.3.2.1　使用气体渗剂、液体渗剂（包括熔盐）和固体渗剂时，应严格按该产品的安全使用要求进行操作。

8.3.2.2　使用无前室炉渗碳，在开启炉门时应停止供给渗剂。使用有前室炉时，在工艺过程中严禁同时打开前室和加热室炉门；停炉时应先在高温阶段停气，然后打开双炉门，使炉内可燃气体烧尽。在以上两种情况下开启炉门的瞬间，操作人员均不得站在炉门前。

8.3.2.3　气体渗碳、气体碳氮共渗和氮碳共渗时，炉内排出的废气应燃烧处理后达标排放。

8.3.2.4　渗氮炉应先切断原料气源并用中性气体充分置换炉内可燃气体，在无明火条件下方可打开炉门（罩）。

8.4　盐浴热处理

8.4.1　盐浴炉启动时，应防止已熔部分的盐液发生爆炸、飞溅。

8.4.2　使用的工件、夹具等应预先充分干燥，严禁将封闭空心工件放入盐浴中加热。

8.4.3　用于轻金属热处理的亚硝酸盐和硝酸盐盐浴炉，在空炉时，其盐浴温度应不超过550°C。镁合金轻金属热处理时，其盐浴的最高允许温度应符合表4的规定。应避免轻金属埋入盐浴中的黏土沉积物中时引起爆炸。

表4　处理镁合金轻金属时盐浴的最高允许温度

镁含量(质量分数,%)	盐浴最高允许温度(不大于)/°C	镁含量(质量分数,%)	盐浴最高允许温度(不大于)/°C
<0.5	550	>4.0~5.5	435
>0.5~2.0	540	>5.5~10.0	380
>2.0~4.0	490		

8.4.4　向浴槽中加入新盐和脱氧剂，应完全干燥，分批、少量逐步加入。

8.4.5　前后工序所用盐浴成分应能兼容，严禁将硝盐带入高温盐浴。

8.4.6　浴炉附近应备有灭火装置和急救药品，浴炉起火时应用干砂灭火。

8.4.7　与有毒性盐浴剂接触过的工具夹、容器、工作服及手套均应进行消毒处理。

8.5　真空热处理

8.5.1　通电前应测量电热元件对地（炉壳）的绝缘电阻值，在炉体通水的情况下，应不低于1kΩ时方可送电。

8.5.2　对多室真空炉，为避免热闸阀反向的受力，加热室压力应低于预备室压力。

8.5.3　在向炉内通入氢或氮氢混合气体时，炉内密封应达到规定的泄漏率。

8.5.4　使用高真空油扩散泵时，扩散泵真空度达到10Pa时方可通电加热扩散泵油，而停泵时扩散泵油应完全冷却后方可停止排气。

8.5.5　炉温高于100°C时不应向炉内充入空气或打开炉门。

8.5.6　停炉前炉内温度应低于350°C时方可停电断水。

8.5.7　真空油淬炉冷却室内油气排空之前，严禁充入空气或打开炉门。

9　安全、卫生防护技术措施

9.1　技术措施

热处理作业场地都应制定安全、卫生防护技术措施，并应达到GB 12801的基本要求。

9.2　防护用品

9.2.1　应定期向热处理操作人员发放劳动防护用品，防护用品应符合 GB 11651 的规定。

9.2.2　在液体碳氮共渗、盐浴硫碳共渗、硼砂熔盐渗金属及作业环境中使用过的防护用品，应严格管理，统一洗涤、消毒、保管和销毁。

9.3　防火防爆

在存放易燃、易爆物质的库房和可能产生易爆、易爆因素的设备及工艺作业场地应按有关规定配备相应的消防设备和器材，必要时应设危险气体泄漏报警仪。

9.4　防尘防毒

9.4.1　对产生粉尘和毒性物质的工艺作业场地应制定切实可行的监测制度。

9.4.2　对毒性物质应制定严格的使用、保管和回收制度，并备有必要地防毒面具。

9.4.3　对在粉尘、有毒环境中的作业人员，应严格执行防护、休息、就餐、洗漱及污染衣物洗涤管理制度。

9.5　防止作业环境气象异常

应按热处理生产特点，采取相应措施，以保证车间和作业环境的气象条件符合防寒、防暑、防湿的要求。

9.6　密闭空间

9.6.1　当人员进入密闭空间工作时，需告知进入人员将会可能遇到的危险。

9.6.2　应在人员进入密闭空间之前，进行强制通风，确保有毒气体和水蒸气等指标保持在对人体无害的水平，必要时进行相应危险气体的检测。

9.6.3　确保空气含氧量大于 19.5%。

9.6.4　穿戴适宜的个体防护用品。

9.6.5　人员进入密闭空间时，需有人看护，并积极监控区域内的安全性。

9.7　设备检修

维修人员进入现场或工作前，要充分认识到可能发生的危险，采取针对性的安全措施，如断电、停气、停水、降温、通风、换气、卸去载荷等，并做好防护准备。

9.8　安全监督

9.8.1　热处理生产场地应设置必要的检测仪器，监督危险和有害物质的水平。

9.8.2　热处理场地使用的安全防护装置，闭锁装置以及自动控制系统等，应按相应的标准或技术文件定期检查其完好程度，不应任意废止不用或拆除。

9.8.3　使用有危害的气体时，应加强对排气通风装置的检查工作。

9.8.4　硝酸盐和亚硝酸盐的混合物的盐浴均应设有熔盐过热的预报装置。

10　安全、卫生管理措施

10.1　基本要求

热处理车间应实施以保证生产过程安全、卫生为目标的现代化管理。其基本要求为：

a）发现、分析和清除生产过程中各种危险和有害因素；

b）制定相应的安全、卫生规章制度；

c）对各类人员进行安全、卫生知识的培训、教育；

d）防止发生事故和职业病。

10.2　人员

10.2.1　健康要求

a）心理、生理条件应能满足工作性质要求；

b）应定期进行体检，其健康状况必须符合工作性质的要求。

10.2.2　技能要求

a）经过安全、卫生知识培训和考核，合格后持证上岗；

b）熟悉热处理生产过程中可能存在和产生的危险和有害因素，了解导致事故的条件，并能根据其危害性质和途径采取防范措施；

c）了解本岗位的工作内容以及与相关作业的关系，掌握本专业或本岗位的生产技能，掌握完成工作的方法和措施；

d）掌握消防知识和消防器材的使用及维护方法；

e）掌握个体防护用品的使用和维护方法；

f）掌握应急处理和紧急救护方法。

10.3　安全、卫生管理机构

10.3.1　按国家有关规定建立和健全安全、卫生管理组织。

10.3.2　安全、卫生管理组织应按国家及有关规定进行检查和监督，制定必要的规章制度，实行全面、系统的标准化管理。

第七节　热处理工作场所空气中有害物质的限值

一、概论

热处理是机械、纺织、航空航天、石油、汽车及海洋装备等行业中重要的关键性工艺之一，是决定产品的品质和使用寿命的重要环节。而热处理的一些工艺所涉及的物质在使用过程中会产生有害的气体物质并排放到工作场所的空气中，如果空气中有害气体物质超过一定的含量，就会影响或伤害操作人员的身体健康；如果排放不当，还会对环境造成污染。随着科学技术的不断发展和进步，“以人为本”的理念不断深入，对工业卫生条件的要求不断提高，有必要在新的职业卫生和环境保护的高度上制定《热处理工作场所空气中有害物质的限值》的国家标准，对全国各行业中的热处理工作场所空气质量进行有效的管理和控制，防止热处理工作场所空气中有害物质对操作人员的身体健康的损害，推动“绿色热处理”理念的有效实施。

1946年，美国的非官方机构“美国工业卫生医师会议”（ACGIH）提出一个包括144种化学物质在车间空气中有害物质的限值（Threshold Limit Value，简称TLV）的建议表，并每隔一年对此限值修订一次，同时增加新物质的限值，至1980年，已增加到600余种化学物质。美国官方机构“职业安全与卫生管理局（OSHA）”也公布了454种化学物质的卫生标准（1980年）。1970年12月，美国在世界上第一个颁布了《职业安全卫生法》。日本于1972年以法律57号公布了《日本劳动安全卫生法》等。这些标准和法规颁布的目的都是为了防止环境污染和保障操作人员的身心健康。

我国在1962年颁布了GBJ 1《工业企业设计卫生标准》，在1979年修订为TJ 36，在2002年修订为GBZ 1（目前已更版为2010版）。卫生部于2002年制定了GBZ 2《工作场所有害因素职业接触限量》并于2007年进行了修订，修订后分列为二部分：GBZ 2.1—2007《工作场所有害因素职业接触限量 化学有害因素》和GBZ 2.2—2007《工作场所有害因素职业接触限量　物理有害因素》。有害物质的控制种类增至388种（其中包括粉尘类47种，生物类2种）。

国家机械电子工业部在1991年，根据我国热处理行业的特点，制定了JB/T 5073—1991《热处理车间空气中有害物质的限值》，在标准中规定了热处理车间空气中16种有害物质的最高容许浓

度，采集测试方法以及有关的管理规定。但该行业标准中引用的标准文件和制定的主要依据已被修订。JB/T 5073—1991 中引用的 TJ 36 和 GBJ 4 已分别被 GBZ 1 和 GBZ 2. 1 所替代。JB/T 5073 中采用的技术数值有所变动，如对于二氧化硫的限值，JB/T 5073 中二氧化硫最高容许浓度为 $15mg/m^3$，而现行的 GBZ 2. 1 标准为时间加权平均容许浓度 $5mg/m^3$ 和短时间接触容许浓度 $10mg/m^3$。因此，该行业标准已不符合目前的工业卫生要求，难以实现标准的现实指导意义。

本标准进一步明确了职业卫生标准所采用的概念及其定义，增加了新的概念和定义，如对于化学有害因素的接触限值增加了时间加权平均容许浓度（PC-TWA），短时间接触容许浓度（PC-STEL），超限倍数，致敏性物质的标识，总粉尘、呼吸性粉尘和空气动力学直径及经皮标识等。所控制的化学物质种类有所增加，相应的容许浓度更为严格，空气中的化学物质的检测方法更为科学。

本标准的制定是以原 JB/T 5073—1991《热处理车间空气中有害物质的限值》为基础，以 GBZ 1—2010《工业企业设计卫生标准》、GBZ 2. 1—2007《工作场所有害因素职业接触限量　化学有害因素》、GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》和 GBZ/T 160—2007《工作场所空气有毒物质测定》为主要技术依据，并以几个较典型的热处理车间工作场所空气中有害物质进行现场检测、分析和验证的结果作为参考完成的。与 JB/T 5073—1991 相比，主要在容许浓度限值的定义、有害物质的种类、限值数据及检测方法等方面有很大的变动。本标准的关键创新点为：①进一步明确了职业卫生标准所采用的概念及其定义，增加了新的概念和定义；②引入 G1、G2B 致癌物质分级标识，作为职业病危害预防的参考；③增加了油雾浓度的检测方法。

二、标准应用说明

1. 范围

本标准规定了热处理工作场所空气中有害物质的术语和定义、技术要求等。

本标准适用于热处理生产过程中，热处理工作场所空气中有害物质的职业接触限值。

2. 术语与定义

JB/T 5073—1991 中的术语只有有害物质、有害物质的浓度、工作地点及最高容许浓度 4 项。本标准共表述 11 项，增加了职业接触限值、时间加权平均容许浓度、短时间接触容许浓度、总粉尘、呼吸性粉尘、超限倍数及剧毒物质 7 项。其中职业接触限值（OELs）的定义：劳动者在职业活动过程中长期反复接触，对绝大多数接触者的健康不引起有害作用的容许接触水平。化学有害因素的职业接触限值包括时间加权平均容许浓度（PC-TWA）、短时间接触容许浓度（PC-STEL）和最高容许浓度（MAC）三类。

对未制定的短时间接触容许浓度（PC-STEL）的化学有害因素，特制定超限倍数指标，即在符合 8h 时间加权平均容许浓度情况下，任一次 15min 短时接触浓度均不应超过时间加权平均容许浓度（PC-TWA）的倍数值。同时，引入（皮）的标识，旨在提示即使化学物质浓度低于 PC-TWA 时，通过皮肤接触也可引起全身效应。引入 G1、G2B 致癌物质分级标识，作为职业病危害预防的参考。

3. 有害物质的种类

本标准根据我国目前热处理各生产工艺过程中所产生的有害物质，参照 GBZ 2. 1—2007 和美国 NIOSH 5026，在 JB/T 5073—1991 基础上，增加了油雾、石墨粉尘等有害物质。本标准以 JB/T 5073—1991 的 16 种有害物质增加至 23 种（见标准中表 1），如甲苯、二甲苯、油雾、炭黑尘、石墨粉尘、炭黑粉尘及铁粉尘等。有害物质的增加反映了对职业健康保障水平的提升。

4. 热处理工作场所空气中有害物质容许浓度的确定

（1）现场检测、分析和验证。在本标准制定过程中，选择 3 家较典型的热处理生产企业（对外热处理协作企业、专业工具厂、大型动力机械企业）的热处理工作场所进行空气中有害物质的

检测验证。检测点共 12 个，检测验证有害物质种类 15 种，测得数据 218 个。取样方法按 GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》规定执行，检测方法采用 GBZ/T 160《工作场所空气有毒物质测定》系列标准方法和 GBZ/T 192《工作场所空气中粉尘测定》规定执行。对照现行的 GBZ 2. 1—2007 相关限值，测量结果均不超过相关限值的 0. 5 倍，如氨的含量，测量结果也仅为现行国家标准的相关限值 0. 4 倍。上述检测验证结果表明，在正常管理情况下，现行的 GBZ 2. 1—2007 中对有害物质限值对热处理行业是可行的。

（2）热处理工作场所空气中有害物质容许浓度。JB/T 5073—1991 中只规定了热处理车间空气中有害物质的最高容许浓度一项内容，已不适应目前国家对有害物质评判依据。GBZ 2. 1—2007 中的限值是为适应各行各业及最新的研究成果所设定，标准规定物质容许浓度以职业接触限值为鉴定指标，包括最高容许浓度、时间加权平均容许浓度和短时间容许浓度 3 项内容，如氨的职业接触限值涉及时间加权平均容许浓度和短时间容许浓度 2 项内容，氯化氢及盐酸只涉及最高容许浓度 1 项内容。

本标准以 GBZ 2. 1—2007 为主要依据，结合我国热处理行业的特点，参考国外先进国家的相关标准确定了热处理工作场所空气中有害物质容许浓度。其中，本标准对二氧化氮、氯化氢及盐酸有害物质的限值加严限制。本标准对热处理工作场所空气中有害物质容许浓度见标准中表 2、表 3。

5. 测定方法

本标准规定的测定方法主要采用 GBZ/T 160《工作场所空气有毒物质测定》系列标准方法和 GBZ/T 192《工作场所空气中粉尘测定》中相关的测定方法（见标准中表 4）。

对于油雾浓度的检测方法，由于目前我国无相应的国家或行业标准，故等效采用美国职业安全卫生研究所 NIOSH 5026 的分析方法，并以规范性附录 A 的形式编写到标准中。规范性附录 A 已经过本标准制定的相关单位方法验证。（上海市机械制造工艺研究所有限公司蔡红，安徽省欧萨卫生检测技术有限公司王小兵供稿）

三、标准内容（GB/T 27946—2011）

热处理工作场所空气中有害物质的限值

1 范围

本标准规定了热处理工作场所空气中有害物质的术语和定义、技术要求等。

本标准适用于热处理生产过程中，对热处理工作场所空气中有害物质的职业接触限值。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2. 1 有害物质 hazardous substance

空气中的气体、粉尘、烟和雾气等，经由呼吸道或与皮肤、眼睛接触而有害于人体健康的物质。

2. 2 有害物质的浓度 concentration of hazardous substance

单位体积的工作场所空气中所含有害物质的质量。

2. 3 工作场所 work place

劳动者进行职业活动的全部地点。

2. 4 职业接触限值 occupational exposure limits，OELs

劳动者在职业活动过程中长期反复接触，对绝大多数接触者的健康不引起有害作用的容许接触水平。

2. 5 时间加权平均容许浓度 permissible concentration-time weighted average，PC-TWA

以时间为权数规定的8h工作日、40h工作周的平均容许接触浓度。

2.6　短时间接触容许浓度　permissible concentration-short term exposure limit，PC-STEL

在遵守PC-TWA的前提下容许短时间（15min）接触的浓度。

2.7　最高容许浓度　maximum allowable concentration，MAC

在工作地点，一个工作日内，任何时间有害物质均不能超过的浓度。

2.8　总粉尘　total dust

可进入呼吸道（鼻、咽和喉、胸腔支气管、细支气管和肺泡）的粉尘。技术上是用总粉尘采样器按标准方法在呼吸带测得的所有粉尘。

2.9　呼吸性粉尘　respirable dust

按呼吸性粉尘标准测定方法所采集的可进入肺泡的粉尘粒子，其空气动力学直径均在7.07μm以下，空气动力学直径5μm粉尘粉子的采样效率为50%的粉尘。

2.10　超限倍数　excursion limits

对未制定PC-STEL的化学有害因素，在符合8h时间加权平均容许浓度的情况下，任何一次短时间（15min）接触的浓度均不应超过的PC-TWA的倍数值。

2.11　剧毒物质　extremely-toxic substance

小剂量或少剂量侵入机体，短时间内即能致人、畜死亡或严重中毒的物质。

3　技术要求

3.1　热处理工作场所空气中的有害物质

现行热处理工作场所空气中的有害物质见表1。

表1　热处理工作场所空气中的有害物质

有害物质	有害物质来源
氯、氯化氢及盐酸、钡及化合物、氟化物、氰化氢及氰化物	高、中温盐浴
二氧化氮、氯化氢及盐酸、氨、氢氧化钾、氢氧化钠、二氧化碳、二氧化硫、氰化氢及氰化物	等温、分级淬火和回火等低温盐浴、铝合金固溶时效盐浴
一氧化碳、氨、氰化氢及氰化物、甲醇、苯、甲苯、二甲苯、丙酮、二氧化硫、二甲基甲酰胺	气体渗碳、渗氮、碳氮共渗、氮碳共渗和控制气氛等
氢氧化钾、氢氧化钠、二氧化硫、三氯乙烯、盐酸、丙酮、苯、甲苯、二甲苯	清洗、发蓝等
油雾、二氧化氮、一氧化碳、二氧化碳、炭黑尘	渗碳、碳氮共渗的气氛及淬火、回火用油
二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮、炭黑尘	控制气氛或保护气氛炉产生的气体及燃料燃烧
总尘及呼吸性粉尘（包括但不限于石墨粉尘、炭黑粉尘、铁粉尘等）	喷丸和喷砂、流态粒子炉、固体渗碳等

3.2　热处理工作场所空气中有害物质容许浓度

3.2.1　应对热处理工作场所的有害物质进行鉴别。

3.2.2　热处理工作场所空气中有害物质容许浓度见表2和表3。

表2　热处理工作场所空气中有害物质容许浓度（化学物质）

序号	有害物质	职业接触限值　OELs/（mg/m^3）			超限倍数	备注
		最高容许浓度MAC	时间加权平均容许浓度PC-TWA	短时间接触容许浓度PC-STEL		
1	氨	—	20	30	—	—
2	钡及其可溶性化合物（按Ba^{2+}计）	—	0.5	1.5	—	—

（续）

序号	有 害 物 质	职业接触限值 OELs/(mg/m^3)			超限倍数	备 注
		最高容许浓度 MAC	时间加权平均容许浓度 PC-TWA	短时间接触容许浓度 PC-STEL		
3	苯	—	6	10	—	皮①,G1②
4	甲苯	—	50	100	—	—
5	二甲苯(全部异构体)	—	50	100	—	—
6	丙酮	—	300	450	—	—
7	二甲基甲酰胺	—	20	—	2.0	皮①
8	二氧化氮	—	4.5	9	—	—
9	二氧化硫	—	5	10	—	—
10	氟化物(不含氟化氢)(按 F^- 计)	—	2	—	2.5	—
11	甲醇	—	25	50	—	皮①
12	氯	1	—	—	—	—
13	氯化氢及盐酸	7	—	—	—	—
14	氢氧化钾	2	—	—	—	—
15	氢氧化钠	2	—	—	—	—
16	氰化氢及氰化物(按 CN^- 计)	1	—	—	—	皮①
17	三氯乙烯	—	30	—	2.0	—
18	一氧化碳	—	20	30	—	—
19	二氧化碳	—	9000	18000	—	—
20	油雾	—	5	10	—	—

① 表示即使化学物质浓度低于 PC-TWA 时，通过皮肤接触也可引起全身效应。应符合相关法律、法规的规定。

② 为引入 G1、G2B 致癌物质分级标识，作为职业病危害预防的参考。应符合相关法律、法规的规定。

表 3 热处理工作场所空气中有害物质容许浓度（粉尘）

序号	有 害 物 质	职业接触限值 OELs/(mg/m^3) 时间加权平均容许浓度 PC-TWA		超限倍数	备 注
		总粉尘	呼吸性粉尘		
1	矽尘 10% ≤游离 SiO_2 含量≤50% 50% <游离 SiO_2 含量≤80% 游离 SiO_2 含量>80%	 1 0.7 0.5	 0.7 0.3 0.2	2.0	G1②(结晶型)
2	石墨粉尘	4	2	2.0	—
3	炭黑粉尘	4	—	2.0	G2B②
4	其他粉尘①	8	—	2.0	—

① 指游离 SiO_2 含量低于 10%，不含石棉和有毒物质，而尚未制定容许浓度的粉尘。

② 为引入 G1、G2B 致癌物质分级标识，作为职业病危害预防的参考。应符合相关法律、法规的规定。

3.3 热处理工作场所空气中有害物质的检测

3.3.1 热处理工作场所空气中有害物质的现场采样，应符合相关法律、法规的规定。

3.3.2　热处理工作场所空气中有害物质的测定方法应按表4的规定执行。

表4　热处理工作场所空气中有害物质的测定方法

序号	有害物质	测定方法
1	氨	纳氏试剂分光光度法
2	钡及其可溶性化合物(按 Ba^{2+} 计)	等离子体发射光谱法
3	苯	溶剂解吸-气相色谱法① 热解吸-气相色谱法 无泵型采样-气相色谱法
4	甲苯	
5	二甲苯(全部异构体)	
6	丙酮	溶剂解吸-气相色谱法① 热解吸-气相色谱法
7	二甲基甲酰胺	溶液采集-气相色谱法
8	二氧化氮	盐酸萘乙二胺分光光度法
9	氯	甲基橙分光光度法
10	二氧化硫	四氯汞钾-盐酸副玫瑰苯胺分光光度法① 甲醛缓冲液-盐酸副玫瑰苯胺分光光度法
11	氟化物(不含氟化氢)(按 F^- 计)	离子选择电极法
12	甲醇	溶剂解吸-气相色谱法① 热解吸-气相色谱法
13	氯化氢及盐酸	离子色谱法① 硫氰酸汞分光光度法
14	氢氧化钾	火焰原子吸收光谱法
15	氢氧化钠	火焰原子吸收光谱法
16	氰化氢及氰化物(按 CN^- 计)	异菸酸钠-巴比妥酸钠分光光度法
17	三氯乙烯	溶剂解吸-气相色谱法① 热解吸-气相色谱法
18	一氧化碳	不分光红外线气体分析仪法
19	二氧化碳	不分光红外线气体分析仪法
20	油雾	红外分光光度法
21	总尘	称重法
22	呼吸性粉尘	称重法

①　为仲裁法。

3.4　热处理工作场所空气中有害物质的处理及排放

3.4.1　热处理工作场所空气中有害物质的处理及排放，应符合相关法律法规的规定。排气装置排出浓度超标的有害物质时应净化处理，达标后方可向大气排放。

3.4.2　对剧毒物质的发生源应采取有效措施，合理安装通风装置，不得采用循环空气作空气调节。

3.4.3　有害物质的发生源，应布置在工作地点机械通风设备的下风侧。

3.4.4　工作场所内应设事故排风装置，以排除车间内可能突然产生过量的有害物质。

3.4.5　气体渗碳、气体渗氮、气体碳氮共渗和气体氮碳共渗等排气应点燃，并充分燃烧。

附　录　A

（规范性附录）

工作场所空气中油雾的测定方法　红外分光光度法[㊀]

A.1　原理

空气中油雾用微孔滤膜采集，四氯化碳解析，用红外分光光度法测定油雾的含量。

A.2　试剂

A.2.1　解吸液（四氯化碳）

将四氯化碳在波长3200～2700cm^{-1}之间扫描，不超过0.03吸光度（4cm比色皿，空气池做参比）。一般情况下，分析纯四氯化碳蒸馏（控制温度为70～74°C）一次便能满足要求。

A.2.2　标准油

在500mL三角瓶中加入300mL食用花生油，插入量程为500°C的温度计，先控制温度为120°C，敞口加热30min，然后在正上方安装空气冷凝管，升温至300°C，回流2h。

A.2.3　标准溶液

用精度为万分之一的天平称取1.0000g标准油，置于50mL容量瓶中，用解吸液稀释至刻度，此溶液为20mg/mL标准油。或用国家认可的标准溶液配制。

A.3　仪器

A.3.1　微孔滤膜

0.8μm孔径（或聚氯乙烯滤膜、聚四氟乙烯滤膜或玻璃纤维滤膜）。

A.3.2　红外分光光度仪（或红外测油仪）

能在波长3200～2700cm^{-1}之间扫描操作，并配有4cm带盖石英比色皿。

A.3.3　空气采样器

流量0～5L/min。

A.3.4　容量瓶

容量瓶为25mL。

A.4　样品采集

现场采样应符合相关法律、法规的规定。

A.4.1　短时间采样

在采样点，将装好微孔滤膜的采样夹，以3L/min流量采集15min空气样品。

A.4.2　长时间采样

在采样点，将装好微孔滤膜的采样夹，以1L/min流量采集2～8h空气样品。

A.4.3　个体采样

将装好微孔滤膜的采样夹佩戴在采样对象的前胸上部，进气口尽量接近呼吸带，以1L/min流量采集2～8h空气样品。

A.4.4　运输和保存

采样后，将滤膜的接尘面朝里对折2次，放入清洁的容器内运输和保存。

A.5　分析步骤

A.5.1　对照试验

将装好微孔滤膜的采样夹带至采样点，除不连接空气采样器采集空气样品外，其余操作同样

㊀　本规范性附录参考了美国职业安全卫生研究所NIOSH 5026的技术内容。

品，作为样品的空白对照。

A. 5. 2　样品处理

将采过样的滤膜置于溶剂解吸瓶中，加入 10mL 解吸液，摇匀为样品解吸液，供测定。若样品液中待测物的浓度超过测定范围，可用解吸液稀释后测定，计算时乘以稀释倍数。

A. 5. 3　标准曲线的绘制

取上述标准溶液 1. 0mL 于 50mL 容量瓶中，用解吸液定容，得到浓度为 400. 00mg/L 的中间液。分别取中间液 0. 50mL，1. 50mL，2. 50mL 和 3. 50mL 于 4 个 25mL 的容量瓶中，用解吸液定容分别得到浓度为 8. 00mg/L，24. 00mg/L，40. 00mg/L 和 56. 00mg/L 的标准系列。打开红外分光光度仪（或红外测油仪），预热 30min 以上，按照仪器使用说明书使用，在 3200～2700cm^{-1}之间扫描，得出四氯化碳的扫描曲线，再分别对标准系列各浓度进行测定，绘出标准曲线。

A. 5. 4　样品测定

用测定标准系列的操作条件测定样品解吸液和空白对照，测得的样品解吸液吸光度值减去空白对照吸光度值后，由标准曲线得样品油雾含量（μg/mL）。

A. 6　计算

A. 6. 1　按公式（A. 1）将采样体积换算成标准采样体积：

$$V_0 = V \times \frac{293}{273 + t} \times \frac{P}{101.3} \qquad (A.1)$$

式中　V_0——标准采样体积（L）；

V——在温度为 t°C，大气压为 P 时的采样体积（L）；

t——采样点的温度（°C）；

P——采样点的大气压（kPa）。

A. 6. 2　按公式（A. 2）计算空气中油雾的浓度：

$$C = \frac{10\ (W - B)}{V_0} \qquad (A.2)$$

式中　C——空气中油雾的浓度（mg/m^3）；

W——测得样品中油雾的含量（μg/mL）；

B——测得样品空白中油雾的含量（μg/mL）；

V_0——换算成标准采样体积（L）；

10——样品溶液体积（mL）。

A. 6. 3　时间加权平均容许浓度按相关法律、法规的规定计算。

第八节　热处理盐浴有害固体废物的管理 第 1 部分：一般管理

一、概论

热处理各种工艺中盐浴热处理工艺由于其成本、操作、质量等方面有相对优势，长期以来成为最常用热处理工艺之一。但热处理熔盐在高温下长期加热，部分蒸发为盐蒸汽，并散发于空气中，其余变成有害（或有毒）的固态废弃物，这些废弃物中含有氯化钡、亚硝酸盐和氰化物等有害（或有毒）物质。因此，近年来盐浴热处理工艺作为限制发展的对象，应用及数量逐年减少。但由于盐浴热处理工艺其特殊性，尤其对于工具、模具的淬火和一些特殊工件的局部处理及化学表面处

理等具有一定的不可替代性，因而，在国际上先进的工业国家，仍未取消盐浴热处理工艺，而我国目前也有相当数量的盐浴热处理生产厂（点）。

对于有害废弃物的系统管理，美国、德国、日本等先进工业国家起步于20世纪70年代，通过相应法规从有害废弃物定义、鉴别、分类出发，对其产生、运输、处理、贮存及处理等各环节进行有效管理。其中，1976年美国制定的资源保护与回收法（RCRA）是国际上较详尽和完整的一部关于固体废弃物管理的法规。该法规对有害固体废弃物进行科学界定，凡具有毒性、易燃性、腐蚀性和传染性其中一种或几种的废弃物即为有害固体废弃物，同时对上述特性进行定义并给出鉴别标准。该法规规定的有害废弃物是指一种固体废弃物或者几种固体废弃物的混合，按照它们的数量、浓度、物理、化学和传染性的程度，可能造成死亡或导致死亡率上升，也可能引起严重的难以治愈或致残而不能恢复的疾病，也有因不适当的处理、贮存、运输和处置而可能对人体健康和环境造成潜在危害。

有害废弃物的鉴别标准是根据有害废弃物的一系列特性而确定的。美国规定凡包括下列一种特性的废弃物就属于有害废弃物，即毒性、易燃性、腐蚀性、反应性和传染性。

美国在大量科学试验和广泛调查研究的基础上，按有害废弃物的成分、工艺过程以及来源方式列表，并在“有害废弃物条例”中予以公布。美国国家环保局对各种有害废弃物规定了编码和几种主要有害特性标记：易燃性（I）、腐蚀性（C）、反应性（R）、急性毒性（H）、EP毒性（E）。按美国资源保护与回收法，环保局制定和公布的标准要求有害废弃物的排放要做到以下几点：

1）登记有害废弃物的数量、成分及处理情况。

2）对有害废弃物的贮存、运输、处置要有标记。

3）使用专用的有害废弃物容器。

4）向运输、处理、贮存、处置有害废弃物的人员提供它们的化学成分。

5）向行政官员提交各种报告（包括废弃物的产生量及处置情况）。

我国对固体废物的法治管理起步于20世纪80年代，当时制定有GB 5085—1996《危险废物鉴别标准》等标准。机械行业于1990年制定相关标准，并于1999年修订编制了JB/T 9052—1999《热处理盐浴有害固体废物污染管理的一般规定》，该标准从技术层面规定了毒性鉴别标准值、测试方法以及有害固体废物的管理原则。由于支持该标准的一些引用标准已修改变更，尤其国家先后颁布了多个相关的环保法规，如《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2005年4月）等，使上述标准难以适应当前的生产及环保要求，需要在新的技术标准体系及相关环保法规体系下，在原标准基础上重新制定适应当前热处理盐浴固体废物管理的组合标准。

本标准是《热处理盐浴有害固体废物的管理》系列标准的第1部分。该系列标准包括《一般管理》、《浸出液检测方法》和《无害化处理方法》三个标准，包含了热处理盐浴有害固体废物的一般管理，分析以及无害化处理等内容。本标准具体从定义（有毒、有害、腐蚀性定义等）、技术要求（毒性等有害特性的鉴别要求、有害固体废物无害化处理要求）、有害固体废物的管理等方面进行规定。

二、标准应用说明

1. 主要内容

本标准给出了热处理盐浴固体废物“有害”的界定；规定了热处理盐浴固体废物的分类；确定了热处理盐浴固体废物浸出毒性鉴别值；明确了有害固体物的浸出方法及检测方法；规定了急性毒性的初筛及急性毒性初筛试验方法；规定了热处理盐浴固体废物腐蚀性测定及鉴别方法；规定了热处理盐浴固体废物管理措施。

2. 技术要求

对于热处理盐浴固体废物的“有害性”主要通过其浸出液显示出来，其“有害”特性主要为：浸出毒性、急性毒性和腐蚀性。

根据“有害”特性的定义，热处理用盐中，固体有害废物主要为钡盐渣、硝盐渣和氰盐渣，而“有害、有毒”主要体现在它们的浸出液中。

根据 GB 5085.3—2007《危险废物鉴别标准　浸出毒性鉴别》规定，盐浴固体废物浸出液中任何一种有害成分的浓度超过本标准中表 1 所列的浓度值，定为有害固体废物。虽然 GB 5085.3—2007《危险废物鉴别标准　浸出毒性鉴别》中的氰化物的浸出液规定的最高允许浓度值为 5.0mg/L，但在 JB/T 9052—1999《热处理盐浴有害固体废物污染管理的一般规定》中的氰化物的浸出液规定的最高允许浓度值为 1.0mg/L，鉴于氰化物的剧毒性，本标准在定值时从严，依然定氰化物的浸出液最高允许浓度值为 1.0mg/L。

为了便于管理，一般按其是否具有急性毒性、易燃性、腐蚀性、反应性、放射性和浸出毒性来进行判定。凡具有其中一种或者一种以上特性者称为有害固体废物。采用对生物及细菌的监测方法，以确定废弃物中的有害物质是否有毒性的存在。

（1）鉴别热处理盐浴固体废物的浸出毒性，利用盐浴三类废渣易溶于水的特性，采集渣样，进行破碎、筛选、制样、浸泡、制备浸出液，用于鉴别该类废渣的浸出毒性。

对制备完成的浸出液进行检测，经查阅相关标准及检测方法，得出盐浴固体废物浸出液（Ba^{2+}、CN^-和 NO_2^-）的检测方法有电感耦合等离子发射光谱法、沉淀-氧化滴定法、离子色谱法、硝酸银滴定法、异烟酸-巴比妥酸分光光度法和氧化还原滴定法等，各工厂或实验室可根据实际环境及不同条件选择各自适用的方法对浸出液进行检测。

（2）鉴别热处理盐浴固体废物的急性毒性，参考了 GB/T 5085.2—2007《危险废物鉴别标准　急性毒性初筛》，对口服毒性半数致死量 LD50、皮肤接触毒性半数致死量 LD50、吸入毒性半数致死浓度 LC50 分别进行急性毒性试验。试验结果为，未处理的废渣（一次浸出）$BaCl_2$、$NaNO_2$ 和 NaCN 在 14 天内，造成试验用动物死亡的数量均超过一半。而二次浸出处理后的试样，试验用动物在 14 天内全部存活。试验表明，处理前渣样可判定为有害固体废物，处理后的试样毒性明显降低，处理效果较好，可判定为一般工业废渣。同时，在本标准的制定过程中，也进行了浸出液发光细菌急性毒性试验。浸出液对发光菌的发光强度的抑制，可以通过对浸出液的系列稀释样品测定发光抑制率来得到达到 EC20（15min 能产生发光抑制率为 20% 的被测样品的质量浓度）的稀释比例来反映，通过浸出液达到 EC20 的稀释比例得到浸出液发光细菌急性毒性 $HgCl_2$ 毒性当量。试验表明，浸出液发光细菌急性毒性≥0.07mg/L（$HgCl_2$）毒性当量，则该热处理盐浴固体废弃物可判定为有害固体废物。

（3）鉴别热处理盐浴固体废物的腐蚀性，采用电位法测定废物的 pH 值来鉴别其腐蚀性。

按照 GB 5085.1《危险废物鉴别标准　腐蚀性鉴别》的规定，符合下列两条件之一的固体废物定为有害固体废物。

1）按 GB/T 15555.12 的规定制备的浸出液，pH 值≥12.5 或 pH 值≤2.0。

2）按 GB/T 15555.12 的规定制备的浸出液，在 55°C 条件下对 GB/T 699 中规定的 20 钢的腐蚀速率≥6.35mm/a。

3. 管理过程中的几个具体要求

在本标准制定过程中，主要以 2005 年 4 月 1 日颁布的中华人民共和国主席令第三十一号《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》为依据，规定了对盐浴有害固体废物进行有效管理的具体要求：

（1）盐浴有害固体废物贮存、处置设施、场所环境保护图形标志按 GB 15562.2 的规定执行。

（2）盐浴有害固体废物的申报登记管理，必须按照国家现行的有关规定执行。

（3）收集、贮存、运输、利用、处置固体废物的单位和个人，必须采取防扬散、防流失、防渗漏或者其他防止污染环境的措施，不得擅自倾倒、堆放、丢弃、遗撒固体废物。（上海市机械制造工艺研究所有限公司蔡红供稿）

三、标准内容（GB/T 27945.1—2011）

热处理盐浴有害固体废物的管理
第 1 部分：一般管理

1 范围

GB/T 27945 的本部分规定了热处理盐浴有害固体废物的定义、技术要求及管理。

本部分适用于钡盐渣、氰盐渣和硝盐渣等热处理盐浴有害固体废物的一般管理。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB 5085.1 危险废物鉴别标准 腐蚀性鉴别

GB 5085.2—2007 危险废物鉴别标准 急性毒性初筛

GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别

GB/T 15555.12 固体废物 腐蚀性测定 玻璃电极法

GB 15562.2 环境保护图形标志 固体废物堆放（填埋）场

GB/T 27945.2 热处理盐浴有害固体废物的管理 第 2 部分：浸出液检测方法

GB/T 27945.3 热处理盐浴有害固体废物的管理 第 3 部分：无害化处理方法

GBZ/T 224—2010 职业卫生名词术语

HJ/T 299—2007 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法

HJ 484 水质 氰化物的测定 容量法和分光光度法

3 术语和定义

GB 5085.1、GB 5085.2—2007、GBZ/T 224—2010 和 HJ/T 299—2007 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB 5085.1、GB 5085.2—2007、GBZ/T 224—2010 和 HJ/T 299—2007 中的某些术语和定义。

3.1 固体废物 solid wastes

在生产建设、日常生活和其他活动中产生的固态、半固态废弃物质。

3.2 盐浴固体废物 salt bath solid wastes

热处理熔盐在使用过程中产生的一些固态废弃物质。

3.3 浸出液 extract

可溶性组分从固相进入液相后的溶液。

3.4 浸出毒性 Ieaching toxicity

固体废物遇水浸沥，浸出的有害物质迁移转化并污染环境，这种危害特性称为浸出毒性。

[HJ/T 299—2007，定义 2.2]

3.5 急性毒性 acute toxicity

一次或 24h 内多次给实验动物染毒化学物质所致的中毒效应。

［GBZ/T 224—2010，定义 11. 2. 3］

3. 6　口服毒性半数致死量 LD_{50}　LD_{50}（median lethal dose）for acute oral toxicity

是经过统计学方法得出的一种物质的单一计量，可使青年白鼠口服后，在 14d 内死亡一半的物质剂量。

［GB 5085. 2—2007，定义 3. 1］

3. 7　皮肤接触毒性半数致死 LD_{50}　LD_{50} for acute dermal toxicity

是使白兔的裸露皮肤持续接触 24h，最可能引起这些试验动物在 14d 内死亡一半的物质剂量。

［GB 5085. 2—2007，定义 3. 2］

3. 8　吸入毒性半数致死浓度 LC_{50}　LC_{50} for acute toxicity on inhalation

是使雌雄青年白鼠连续吸入 1h，最可能引起这些试验动物在 14d 内死亡一半的蒸气、烟雾或粉尘的浓度。

［GB 5085. 2—2007，定义 3. 3］

3. 9　浸出液发光细菌急性毒性　inhibitory effect of extract on the light emission of luminescent bacteria

发光细菌在干净水体中发光恒定，当受到污染毒物影响时，发光受到抑制，受抑制的程度与水体中毒物的总体程度相关，急性毒性大小为特征参比物（如氯化汞、苯酚等）浓度的毒性当量。

3. 10　腐蚀性　corrodibility

符合下列条件之一的固体废物即被认为具有腐蚀性：

按 GB/T 15555. 12 的规定制备的浸出液，pH 值≥12. 5 或 pH 值≤2. 0；按 GB 5085. 1 的规定在 55°C 条件下对 GB/T 699 中规定的 20 钢的腐蚀速率≥6. 35mm/a。

4　技术要求

4. 1　有害固体废物无害化处理

应对盐浴固体废物的急性毒性、浸出毒性和腐蚀性进行鉴别，凡具有一种或多种上述特性的有害固体废物应进行无害化处理。

4. 2　急性毒性的初筛及其试验方法

4. 2. 1　浸出液发光细菌急性毒性 $HgCl_2$ 毒性当量≤0. 07mg/L。浸出液发光细菌急性毒性检测方法按 GB/T 27945. 2 的规定执行。

4. 2. 2　口服毒性半数致死量 LD_{50}、皮肤接触毒性半数致死量 LD_{50} 和吸入毒性半数致死浓度 LC_{50} 应符合 GB 5085. 2—2007 的规定。

4. 3　浸出毒性鉴别

4. 3. 1　盐浴固体废物浸出毒性浸出方法按 GB/T 27945. 2 的规定执行。

4. 3. 2　盐浴固体废物浸出液中任何一种有害成分的浓度超过表 1 所列的浓度限值，定为有害固体废物。

表 1　盐浴固体废物浸出毒性鉴别标准值

序　号	有 害 物 质	浸出液有害物质浓度限值/(mg/L)
1	钡及其化合物(以 Ba^{2+} 计)	100
2	氰化物(以 CN^- 计)	1.0
3	亚硝酸盐(以 NO_2^- 计)	100

4. 3. 3　盐浴固体废物浸出液中有害物质检测方法见表 2。

表2 盐浴固体废物浸出液中有害物质检测方法

序号	有害物质	检测方法	检测方法来源
1	钡及其化合物(以 Ba^{2+} 计)	电感耦合等离子发射光谱法	GB 5085.3
		沉淀-氧化滴定法	GB/T 27945.2
2	氰化物(以 CN^- 计)	离子色谱法	GB 5085.3
		硝酸银滴定法	HJ 484
		异烟酸-巴比妥酸分光光度法	
3	亚硝酸盐(以 NO_2^- 计)	离子色谱法	GB 5085.3
		氧化还原滴定法	GB/T 27945.2

4.4 腐蚀性的鉴别与测定

腐蚀性的测定方法应符合 GB/T 15555.12 的规定。腐蚀性鉴别应符合 GB 5085.1 的规定。

5 盐浴有害固体废物的管理

5.1 盐浴有害固体废物种类见表3。

表3 盐浴有害固体废物

序号	种类	来源
1	钡盐渣	高、中温盐浴
2	氰盐渣	碳氮共渗、渗碳、氮碳共渗、硫氮共渗、硫氮碳共渗和碳氮硼共渗等盐浴
3	硝盐渣	等温、分级淬火和回火等盐浴

5.2 盐浴有害固体废物的申报登记管理，应按照国家现行的有关规定执行。

5.3 热处理盐浴使用单位应对产生的盐浴固体废物尽可能加以利用；应对暂时不利用的盐浴固体废物按国家有关规定贮存，安全分类存放和管理；应对不能利用的盐浴固体废物按 GB/T 27945.3 进行无害化处理。对热处理盐浴使用单位无能力处理的有害固体废物，应委托有资质的部门处理。处理单位应有处理过程、处理结果和排放批准的记录，并保存。处理单位应接受当地环保部门的检查、监督和管理。

5.4 收集、贮存、运输、利用和处置固体废物的单位和个人，应采取防扬散、防流失、防渗漏或者其他防止污染环境的措施，不得擅自倾倒、堆放、丢弃和遗撒固体废物。盐浴有害固体废物贮存、处置设施和场所环境保护图形标志应符合 GB 15562.2 的规定。

5.5 当本标准与当地环境要求不一致时，按当地地方环保标准的规定执行。

第九节 热处理盐浴有害固体废物的管理 第2部分：浸出液检测方法

一、概论

盐浴热处理是目前常用的钢铁材料热处理方法之一，然而在工艺使用过程中会不断产生有害固体废物，控制不当会危害操作者健康，并对周围环境造成严重污染。对此，国内外均对这类有害固体废物不断加大控制措施，实施有效管理和无害化处理。

针对上述这类有害固体废弃物，国际上工业发达国家于20世纪70年代相继制定了废弃物治理

法规，不但对有害废弃物从定义、鉴别和分类进行了规定，还对其产生、运输、处理、储存和处置等环节实行全面管理。其中美国于1976年制定的RCRA法规（资源保护与再生法）是目前国际上较详细和完整的一部关于固体废物管理、控制和处置的法规。

在我国，先后制定了JB/T 9052—1999（由ZB Z71 001—1990转化）《热处理盐浴有害固体废物污染管理的一般规定》和JB/T 6047—1992《热处理盐浴有害固体废物无害化处理方法》两项行业标准。同时，为使这二项标准能完整、规范地推广应用于生产实际，相应又补充制定了JB/T 7519—1994《热处理盐浴（钡盐、硝酸盐）有害固体废物分析方法》，也是对环保系统固体废弃物分析方法标准体系的补充。

JB/T 7519—1994《热处理盐浴（钡盐、硝酸盐）有害固体废物分析方法》行业标准经过多年的使用，发挥了相当的作用，但随着技术进步，控制水平的提高，该标准的局限性、技术及规范性的不适应性十分明显，需要从大行业视角，从新的技术高度制定。

对于固体废物的分析，国际上均采用浸出试验方法，具体操作有三种：日本浸出试验法（日本工业废弃物的处置判别方法与浸出试验《环境科学研究》1993年第6期55-59页）、美国环保局浸出法（USEPA SW-846《评估固体废弃物的检测方法　物理/化学方法》）和美国材料试验学会ASTM法。其中只有USEPA的SW-846方法1311即TCLP方法（SW-846的4中的浸出方法之一）是受美国资源保护和再生法RCRA认可的浸出方法。

本标准采用通用浸出试验方法对热处理盐浴有害固体废物进行检测，为是否“有害”提供判定依据。标准包含了固体废物采样、浸出液制备、检测流程等方面内容。对于实际检测方面，考虑到各企业单位的实际情况不同，本标准列出仪器分析和手工分析方法，同时明确了各检测部分的仲裁方法。

相对于JB/T 7519—1994，本标准增加了氰盐分析部分内容。虽然如今氰盐受到严格控制，基本禁止使用，但实际生产中仍有少量应用，有时还可能复合形成。因此，从严密性角度考虑，本标准列出了氰盐浸出液的相关检测方法。

本标准作为《热处理盐浴有害固体废物的管理》的第2部分，与另两个部分（一般管理、无害化处理方法）共同配套组成《热处理盐浴有害固体废物的管理》国家标准，以加强对全国热处理行业盐浴热处理产生的有害废弃物进行有效的管理和控制，提高盐浴热处理过程中的环境保护和控制水平，杜绝盐浴热处理对环境的污染，以保障操作环境的安全卫生。

二、标准应用说明

1. 采样

由于热处理盐浴固体废物的“有毒、有害”主要反映在其浸出液中，因此检测的直接对象是相关的浸出液。而浸出液制备的第一步是采样。

对采样的基本要求是采集的样品具有代表性。为保证取到能正确代表成堆固体废物的“有害性”样品，对具体采样过程，包括采样方式、采样点、采样工具、质量控制等，应严格依据HJ/T 20—1998《工业固体废物采样制样技术规范》中的规定进行。一般可选用简单随机采样法、系统采样法、分层采样法和两段采样法，而不可使用权威采样法。

2. 盐浴固体废物浸出液的制备

称取50～100g试样置于具盖容器中，于105°C烘干，恒重至2次称样量误差小于±1%。对于粒径大的颗粒可通过破碎、切割或研磨降低粒径，控制颗粒度在1～10mm之间。

注：GB/T 5330—2003《工业用金属丝网编制方孔筛网》中给出标准筛的网孔基本尺寸表以换算mm和目/in单位。

由于“有毒、有害”的鉴别是以有害物的含量（浓度）为依据，因此浸出液的充分浸出，浸出液的浓度（固液比）的控制等因素十分重要。本标准采用 GB/T 15555.12—1995《固体废物　腐蚀性测定　玻璃电极法》中浸出液的制备一章相关条款执行。钡盐渣浸出液、硝盐渣浸出液、氰盐渣浸出液和用于腐蚀性测试的浸出液应以水为溶剂浸出制备。而用于发光细菌急性毒性测试的浸出液应在酸性条件下才能进行测试，浸出时使用 0.0001mol/L 的稀硫酸。

3. 钡盐浸出液中氯化钡的测定

经查阅相关资料和标准，GB 5085.3—2007《危险废物鉴别标准　浸出毒性鉴别》中的电感耦合等离子体原子发射光谱法适用于钡盐渣浸出液中氯化钡的测定。考虑到此方法依赖的电感耦合等离子体原子发射光谱并非一般企业都有，因此在本标准中增加了易于操作的沉淀-氧化还原滴定法测定钡盐渣浸出液中氯化钡含量的内容（见标准中附录 A）。钡盐渣浸出液氯化钡的测试条件见表 8.9-1。

表 8.9-1　钡盐渣浸出液氯化钡的测试条件

项　　目	样品名称	项　　目	样品名称
	钡盐渣		钡盐渣
浸出液酸碱度	pH 值为 6.0～7.0	溶液加热温度	50～60°C
沉淀剂用量	0.05mol/L $K_2Cr_2O_7$20.0mL	沉淀放置时间	30min

4. 硝盐渣浸出液中亚硝酸盐的测定

经查阅相关资料及标准，GB 5085.3—2007《危险废物鉴别标准　浸出毒性鉴别》中的离子色谱法适用于硝盐渣浸出液中亚硝酸盐的测定，由于考虑到此方法依赖于离子色谱仪，并非一般企业都有此仪器，故在本标准中增加了便于操作及测定的氧化还原滴定法测定盐渣浸出液中亚硝酸盐的含量的内容（见标准中附录 B）。硝盐渣浸出液亚硝酸盐的测试条件见表 8.9-2。

表 8.9-2　硝盐渣浸出液亚硝酸盐的测试条件

项　　目	样品名称	项　　目	样品名称
	硝盐渣		硝盐渣
浸出液酸碱度	pH 值为 6.0～8.0	溶液加热温度	50～60°C
氧化剂用量	0.1mol/L $KMnO_4$ 20.0mL	氧化反应时间	瞬间

5. 氰盐渣浸出液中氰化物的测定

经查阅相关资料及标准，GB 5085.3—2007《危险废物鉴别标准　浸出毒性鉴别》中的离子色谱法适用于氰盐渣浸出液中氰化物的测定，由于考虑到此方法依赖于离子色谱仪，并非一般企业都有此仪器，故增加了常规化学分析方法，便于操作及测定。根据热处理盐浴氰盐废物 CN^- 可能的含量范围，选用了 HJ 484—2009《水质　氰化物的测定　容量法和分光光度法》中的两个方法进行检测：①硝酸银滴定法（检测范围为 0.25～100mg/L）；②异烟酸-巴比妥酸分光光度法（检测范围为 0.004～0.45mg/L）。

6. 浸出液急性毒性的测定

浸出液急性毒性的测定按 GB/T 15441—1995《水质　急性毒性的测定　发光细菌法》规定执行。在制定标准的过程中，经过研究与专家的建议，同时引入了发光细菌的仪器检测方法测定浸出液急性毒性（见标准中附录 C）。发光细菌急性毒性检测仪是近期发展起来的检测水质急性毒性快速、简便的专用仪器。发光细菌急性毒性检测仪在国际上拥有成熟的专利产品，如 ToxScreen 型；

我国也有相同产品研发成功，如 ALK601Q 型。

7. 浸出液腐蚀性的测定

浸出液腐蚀性的测定按 GB/T 15555.12 的规定进行，pH 值≥12.5 或≤2.0，则该固体废物具有腐蚀性。（上海市机械制造工艺研究所有限公司张佳伟供稿）

三、标准内容（GB/T 27945.2—2011）

热处理盐浴有害固体废物的管理
第 2 部分：浸出液检测方法

1　范围

GB/T 27945 的本部分规定了热处理盐浴（钡盐渣、硝盐渣、氰盐渣）有害固体废物浸出液检测方法。

本部分适用于热处理盐浴有害固体废物的钡盐渣浸出液氯化钡、硝盐渣浸出液亚硝酸盐、氰盐渣浸出液氰化物的检测以及急性毒性、腐蚀性的检测。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 699　优质碳素结构钢

GB 5085.1　危险废物鉴别标准　腐蚀性鉴别

GB 5085.2—2007　危险废物鉴别标准　急性毒性初筛

GB 5085.3　危险废物鉴别标准　浸出毒性鉴别

GB/T 15441　水质　急性毒性的测定　发光细菌法

GB/T 15555.12　固体废物　腐蚀性测定　玻璃电极法

GB/T 27945.1　热处理盐浴有害固体废物的管理　第 1 部分：一般管理

GBZ/T 224—2010　职业卫生名词术语

HJ/T 20　工业固体废物采样制样技术规范

HJ/T 299—2007　固体废物　浸出毒性浸出方法　硫酸硝酸法

HJ 484　水质　氰化物的测定　容量法和分光光度法

3　术语和定义

GB 5085.1、GB 5085.2—2007、GB/T 27945.1、GBZ/T 224—2010 和 HJ/T 299—2007 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB 5085.1、GB 5085.2—2007、GB/T 27945.1、GBZ/T 224—2010 和 HJ/T 299—2007 中的某些术语和定义。

3.1　固体废物　solid wastes

在生产建设、日常生活和其他活动中产生的固态、半固态废弃物质。

3.2　盐浴固体废物　salt bath solid wastes

热处理熔盐在使用过程中产生的一些固态废弃物质。

3.3　浸出液　extract

可溶性组分从固相进入液相后的溶液。

3.4　浸出毒性　leaching toxicity

固体废物遇水浸沥，浸出的有害物质迁移转化并污染环境，这种危害特性称为浸出毒性。

［HJ/T 299—2007，定义 2.2］

3.5 急性毒性 acute toxicity

一次或24h内多次给实验动物染毒化学物质所致的中毒效应。

[GBZ/T 224—2010，定义11.2.3]

3.6 口服毒性半数致死量 LD_{50} LD_{50} (median lethal dose) for acute oral toxicity

经过统计学方法得出的一种物质的单一计量，可使青年白鼠口服后，在14d内死亡一半的物质剂量。

[GB 5085.2—2007，定义3.1]

3.7 皮肤接触毒性半数致死量 LD_{50} LD_{50} for acute dermal toxicity

使白兔的裸露皮肤持续接触24h，最可能引起这些试验动物在14d内死亡一半的物质剂量。

[GB 5085.2—2007，定义3.2]

3.8 吸入毒性半数致死浓度 LC_{50} LC_{50} for acute toxicity on inhalation

使雌雄青年白鼠连续吸入1h，最可能引起这些试验动物在14d内死亡一半的蒸气、烟雾或粉尘的浓度。

[GB 5085.2—2007，定义3.3]

3.9 浸出液发光细菌急性毒性 inhibitory effect of extract on the light emission of luminescent bacteria

发光细菌在干净水体中发光恒定，当受到污染毒物影响时，发光受到抑制，受抑制的程度与水体中毒物的总体程度相关，急性毒性大小为特征参比物（如氯化汞、苯酚等）浓度的毒性当量。

[GB/T 27945.1—2011，定义3.9]

3.10 腐蚀性 corrodibility

符合下列条件之一的固体废物即被认为具有腐蚀性：按GB/T 15555.12的规定制备的浸出液，pH值≥12.5或pH值≤2.0；按GB 5085.1的规定在55°C条件下对GB/T 699中规定的20钢的腐蚀速率≥6.35mm/a。

3.11 相对发光强度 relative light intensity

$$相对发光强度=\frac{样品发光强度}{对照发光强度}\times100\%。$$

3.12 发光抑制率 inhibition rate of light intensity

发光抑制率=1－相对发光强度。

3.13 20%抑制浓度（EC20） effective concentration 20%

15min能产生发光抑制率为20%的被测样品的质量浓度。

4 浸出液的制备

4.1 采样

在本标准第1部分中所规定的热处理盐浴固体废物中采样，采样方法应符合HJ/T 20的规定。

4.2 制样

控制颗粒度在1～10mm之间，对于粒径大的颗粒可通过破碎、切割或研磨降低粒径。称取100～200g上述所采集的试样置于具盖容器中，在105°C温度下烘干。

4.2.1 用于发光细菌急性毒性测试的浸出液制备：在室温下称取上述烘干试样50.0g于烧杯中，加入0.0001mol/L硫酸溶液500mL，加热搅拌煮沸2h，然后将浸出液过滤于500mL容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。

4.2.2 钡盐渣浸出液、硝盐渣浸出液、氰盐渣浸出液和用于腐蚀性测试的浸出液制备应符合GB/T 15555.12的规定。

5　钡盐渣浸出液中氯化钡的测定

5.1　采用电感耦合等离子体原子发射光谱法，并符合 GB 5085.3 的规定。

5.2　采用沉淀-氧化还原滴定法，具体检测方法见附录 A。

6　氰盐渣浸出液中氰化物的测定

6.1　采用离子色谱法，并符合 GB 5085.3 的规定。

6.2　采用硝酸银滴定法，并符合 HJ/T 484 的规定。

6.3　采用异烟酸-巴比妥酸分光光度法，并符合 HJ/T 484 的规定。

7　硝盐渣浸出液中亚硝酸盐的测定

7.1　采用离子色谱法，并符合 GB 5085.3 的规定。

7.2　采用氧化还原滴定法，具体检测方法见附录 B。

8　浸出液发光细菌急性毒性的测定

8.1　采用发光细菌法（明亮发光杆菌），并符合 GB/T 15441 的规定。

8.2　采用发光细菌法（青海弧菌），具体检测方法见附录 C。

9　浸出液腐蚀性的测定

采用玻璃电极法，并符合 GB/T 15555.12 规定。

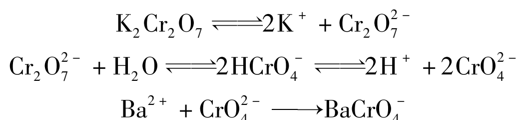
附　录　A

（规范性附录）

钡盐渣浸出液中氯化钡的测定（沉淀-氧化还原滴定法）

A.1　原理

在弱酸性溶液中，加入过量的重铬酸钾标准溶液，与 Ba^{2+} 生成铬酸钡沉淀。其化学反应式：



$$K_2Cr_2O_7 \rightleftharpoons 2K^+ + Cr_2O_7^{2-}$$

$$Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2HCrO_4^- \rightleftharpoons 2H^+ + 2CrO_4^{2-}$$

$$Ba^{2+} + CrO_4^{2-} \longrightarrow BaCrO_4^-$$

过量的重铬酸钾标准溶液，以苯基代邻氨基苯甲酸为指示剂，以硫酸亚铁铵标准溶液返滴定。其化学反应式：



$$2H_2CrO_4 + 6(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 + 6H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3Fe_2(SO_4)_3 + 6(NH_4)_2SO_4 + 8H_2O$$

由重铬酸钾标准溶液前后用量差值计算氯化钡含量。

A.2　试剂

本方法所用试剂除另有说明外，均为分析纯试剂，实验中所用的水，均应用蒸馏水或同等纯度的水。

A.2.1　硫酸（1+1），取 500mL 浓硫酸（$\rho = 1.84$g/mL）加入到 400mL 水中，然后稀释至 1L。

A.2.2　磷酸，$\rho = 1.68$g/mL。

A.2.3　重铬酸钾标准溶液，0.05mol/L。

A.2.4　硫酸亚铁铵标准溶液，0.25mol/L。

A.2.5　醋酸铵，15%。

A.2.6　苯基代邻氨基苯甲酸指示剂，称取 0.2700g 指示剂溶于 5mL 5% 碳酸钠溶液中，并用水定容至 250mL 容量瓶中。

A.3　仪器和设备

一般通用分析仪器及酸式滴定管等。

A.4　分析步骤

A.4.1　准确移取浸出液 20.0mL 于 250mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。

A.4.2　移取稀释溶液 25.0mL 于烧杯中，加水 75mL，醋酸铵溶液 2.0mL，加热至 50～60°C，准确加入重铬酸钾标准溶液 20.0mL，充分搅拌。

A.4.3　放置 30min 以上，然后以快速滤纸过滤，用 0.5% 醋酸铵溶液洗涤沉淀 5～8 次至洗涤液不呈现黄色为止。

A.4.4　滤液中加硫酸（1+1）12.0mL，磷酸 2.0mL，苯基代邻氨基苯甲酸指示剂 3 滴，以硫酸亚铁铵标准溶液滴定至试样溶液由紫红色变成亮绿色即为终点。

A.5　钡盐渣浸出液中氯化钡浓度的计算

钡盐渣浸出液中氯化钡浓度按公式（A.1）计算。

$$W_{BaCl_2} = \frac{(M_1V_1 - M_2V_2) \times 0.0694 \times 10^7}{20} \quad (A.1)$$

式中　W_{BaCl_2}——钡盐渣浸出液中氯化钡的浓度（mg/L）；

M_1——重铬酸钾标准溶液的摩尔浓度（mol/L）；

V_1——重铬酸钾标准溶液的用量（mL）；

M_2——硫酸亚铁铵标准溶液的摩尔浓度（mol/L）；

V_2——硫酸亚铁铵标准溶液的用量（mL）；

20——移取浸出液体积（mL）；

0.0694——每毫摩尔氯化钡的质量（g/mmol）。

A.6　允许偏差

钡盐渣氯化钡（按 Ba^{2+} 计）浓度≤1000mg/L，允许相对标准偏差≤1.0%；浓度>1000mg/L，允许相对标准偏差≤0.5%。

附　录　B

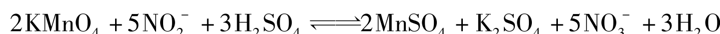
（规范性附录）

硝盐渣浸出液中亚硝酸盐的测定（氧化还原法）

B.1　原理

在酸性溶液中，高锰酸钾将亚硝酸盐氧化为硝酸盐。

化学反应式：



$$2KMnO_4 + 5NO_2^- + 3H_2SO_4 \rightleftharpoons 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5NO_3^- + 3H_2O$$

由消耗的高锰酸钾标准溶液的体积来计算亚硝酸盐的含量。

B.2　试剂

B.2.1　硫酸（1+1），取 500mL 浓硫酸加入到 400mL 水中，然后稀释至 1L。

B.2.2　高锰酸钾标准溶液，0.1mol/L。

B.3　仪器和设备

一般通用分析仪器及酸式滴定管等。

B.4　分析步骤

B.4.1　准确移取浸出液 20.0mL 于 250mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。

B.4.2　准确吸取高锰酸钾标准溶液 20.0mL 于 300mL 锥形瓶中，加硫酸（1+1）50mL，摇匀，加热至 50～60°C 后，用稀释溶液滴定至红色消失即为终点。

B.5　硝盐渣浸出液中亚硝酸盐浓度（按 NO_2^- 计）的计算

硝盐渣浸出液中亚硝酸盐浓度（按 NO_2^- 计）按公式（B.1）计算。

$$W_{XNO_2} = \frac{2.5V_1V_2M \times 0.0345 \times 10^6}{VV_3} \quad (B.1)$$

式中　W_{XNO_2}——硝盐渣浸出液中亚硝酸盐的浓度（按 NO_2^- 计，mg/L）；

V——消耗的浸出液稀释溶液的体积（mL）；

V_1——准确移取浸出液的定容体积（mL）；

V_2——准确吸取的高锰酸钾标准溶液的体积量（mL）；

V_3——准确移取浸出液的体积量（mL）；

M——高锰酸钾标准溶液的物质的量浓度（mol/L）；

2.5——滴定反应中每摩尔高锰酸钾消耗的亚硝酸盐（按 NO_2^- 计）的物质的量（mol/mol）；

0.0345——每毫摩尔 NO_2^- 的质量（g/mmol）。

B.6　允许偏差

硝盐渣亚硝酸盐（按 NO_2^- 计）浓度在 500mg/L 以下时，允许相对标准偏差≤1.0%；浓度 >500mg/L，允许相对标准偏差≤0.5%。

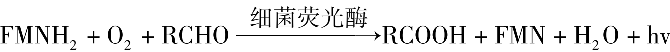
附　录　C

（规范性附录）

急性毒性测试仪测定法（青海弧菌发光细菌法）

C.1　原理

发光细菌本身体内可以合成一种酶，称为细菌荧光酶，它可以催化还原型的黄素单核苷酸发生氧化反应而放出光子，其光波范围是 420～670nm，最大发射波长为 490nm。其简略的反应方程式为



$$FMNH_2 + O_2 + RCHO \xrightarrow{\text{细菌荧光酶}} RCOOH + FMN + H_2O + hv$$

青海弧菌为淡水发光细菌在干净水体中发光恒定，但受到污染物影响时，发光受到抑制，受抑制的程度与水体中毒物的性质以及总体浓度有关，故而指定测试用试管，加入定量的发光菌悬液及水样或经稀释的水样，作用一定的时间，用发光菌急性毒性测试仪测定其发光强度，比对发光被抑制的大小程度，即可评估该浸出液发光细菌急性毒性大小。

C.2　仪器

发光菌急性毒性测试仪，是一种专门用于发光细菌检测化学发光测光仪。该类测试仪的工作模块简图见图 C.1。仪器的样品室提供多个管位，便于多个样本、单个样品不同指标同时检测。每个测试的管位由传动系统根据设定自动精确定位。数据采集与处理部分对样品的发光采集、完成对样品的情况的实时检测，通过与标准点的比较，得到检测结果的判定。

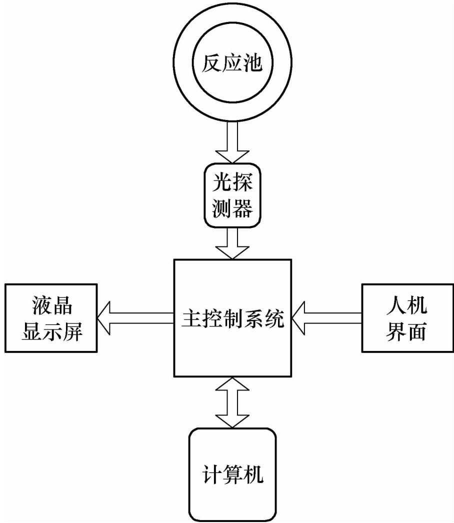


图 C.1　发光菌急性毒性测试仪（ALK601Q 型、ToxScreen 型等）工作模块简图

C.3　发光菌种类

目前用于急性毒性检测的发光菌菌体有两大类 3 种，见表 C.1。用于实验用菌种需冷藏保存，实验时再进行复苏处理。

表 C.1 发光菌菌体种类

发光菌种类	海洋型		淡水型
	明亮发光杆菌	费氏弧菌	青海弧菌
适用仪器	生物化学光度计如:ALK601Q 型、ToxScreen 型等		生物化学光度计如:ALK601Q 型等

C.4 浸出液急性毒性测定

通过将特定体积的浸出液或浸出液的稀释样品与发光菌在测试管中混合后进行测定。当反应15min 后进行发光量的测定，同时考虑一个修正系数 fkt（可以减小在测试过程中菌剂自身产生的发光强度的变化所引起的偏差）。浸出液对发光菌的发光强度的抑制可以通过对浸出液的系列稀释样品测定发光抑制率来得到达到 EC20 的稀释比例来反映，通过浸出液达到 EC20 的稀释比例得到浸出液发光细菌急性毒性 $HgCl_2$ 毒性当量。按要求完成发光细菌的复苏及被测样品的预处理，具体按仪器使用说明书进行操作，可测得浸出液发光细菌急性毒性。

第十节　热处理盐浴有害固体废物的管理
第 3 部分：无害化处理方法

一、概论

本标准的制定是为了建立和完善无害化处理标准规范，为贯彻实施 GB/T 27945.1—2011《热处理盐浴有害固体废物的管理　第 1 部分：一般管理》所指定的各项指标与管理办法，提供有效措施。

美国、德国、日本于 20 世纪 70 年代相继制定了废弃物法规。其内容包括有害废弃物的定义、鉴别、分类、列表，并对产生、运输、处理、贮存和处置等各个环节实行全面管理的原则，从而大大推动了防治有害废弃物污染的步伐。

美国在 1976 年制定了《资源保护与回收法》（RCRA），后经 1980、1984 年两次修订，是目前世界上比较详尽和完整的一部有关固体废物管理及处理的法规，确定了固体废物的处理、储存和处置等各环节管理的原则。

对有害固体废物处理，目前各国普遍采用的方法有：焚化法、填埋法、化学法、固化法、生物降解法和海洋投弃法。其中化学处理法是处理和处置有害废物的最终方法。化学法应用最普遍的是：酸碱中和法、氧化和还原处理法、化学沉淀处理法。同时国外对热处理盐浴废渣的处理，除少数加稳定剂做建材外，大部分先做解毒预处理，然后废弃。

我国自 20 世纪 90 年代开始对热处理盐浴废物的管理、分析及处理三方面先后制定了配套可行的标准：JB/T 6047—1992《热处理盐浴有害固体废物无害化处理方法》、JB/T 7519—1994《热处理盐浴（钡盐、硝盐）有害固体废物分析方法》和 JB/T 9052—1999《热处理盐浴有害固体废物污染管理的一般规定》，其中 JB/T 6047—1992《热处理盐浴有害固体废物无害化处理方法》规定了用化学方法对热处理盐浴废物进行无害处理。本标准是以 JB/T 6047—1992《热处理盐浴有害固体废物无害化处理方法》为基础，以相关技术的发展及我国相关法规为依据所制定的。

本标准规定了钡盐渣、硝盐渣和氰盐渣三类废渣的无害化处理的工艺规范，而“无害”的判定依据 GB/T 27945.1—2011《热处理盐浴有害固体废物的管理　第 1 部分：一般管理》的规定，对浸出液的具体检测方法依据 GB/T 27945.2—2011《热处理盐浴有害固体废物的管理　第 2 部分：

浸出液检测方法》的规定。

二、标准应用说明

1. 主要内容

本标准给出了热处理盐浴有害固体废物（钡盐渣、硝盐渣、氰盐渣）进行无害化处理的基本原理，热处理盐浴有害固体废物浸出液制备方法及处理条件，以及热处理盐浴有害固体废物处理工艺流程，并规定了鉴别浸出液的有害毒性按本标准第1部分执行，热处理盐浴有害物质的处置及安全保护要求。

2. 热处理盐浴固体废物“有害”的界定

对于热处理盐浴固体废物的“有害性”主要通过其浸出液显现出来，其“有害”特性主要为：浸出毒性、急性毒性和腐蚀性。这三种特性的定义在GB/T 27945.1—2011《热处理盐浴有害固体废物的管理　第1部分：一般管理》标准中已有说明。

（1）浸出毒性。固体废物遇水浸沥，浸出的有害物质迁移转化并污染环境，这种危害特性称为浸出毒性。

（2）急性毒性

1）口服毒性半数致死量LD50：是经过统计学方法得出的一种物质的单一计量，可使青年白鼠口服后，在14天内死亡一半的物质剂量。

2）皮肤接触毒性半数致死量LD50：是使白兔的裸露皮肤持续接触24h，最可能引起这些试验动物在14天内死亡一半的物质剂量。

3）吸入毒性半数致死浓度LC50：是使雌雄青年白鼠连续吸入1h，最可能引起这些试验动物在14天内死亡一半的蒸气、烟雾或粉尘的浓度。

4）浸出液发光细菌急性毒性：发光细菌在干净水体中发光恒定，当受到污染毒物影响时，发光受到抑制，受抑制的程度与水体中毒物的总体程度相关，急性毒性大小为特征参比物（如氯化汞、苯酚等）浓度的毒性当量。

（3）腐蚀性。符合下列两条件之一的固体废物即具有腐蚀性：

1）按GB/T 15555.12的规定制备的浸出液，pH值≥12.5或pH值≤2.0。

2）按GB/T 15555.12的规定制备的浸出液，在55°C条件下对GB/T 699中规定的20钢的腐蚀速率≥6.35mm/a。

参考了GB/T 5085.2—2007《危险废物鉴别标准　急性毒性初筛》，对口服毒性半数致死量LD50、皮肤接触毒性半数致死量LD50、吸入毒性半数致死浓度LC50分别进行急性毒性试验。试验结果为，未处理的废渣（一次浸出）$BaCl_2$、$NaNO_2$和NaCN在14天内，试验用动物死亡的数量均超过一半。而二次浸出处理后的试样，试验用动物在14天内全部存活。试验表明，处理前渣样可判定为有害固体废物，处理后的试样毒性明显降低，处理效果较好，可判定为一般工业废渣。同时，在本标准的制定过程中，也进行了浸出液发光细菌急性毒性试验。浸出液对发光菌的发光强度的抑制，可以通过对浸出液的系列稀释样品测定发光抑制率来得到达到EC20（15min能产生发光抑制率为20%的被测样品的质量浓度）的稀释比例来反映，通过浸出液达到EC20的稀释比例得到浸出液发光细菌急性毒性$HgCl_2$毒性当量。试验表明，浸出液发光细菌急性毒性≥0.07mg/L（$HgCl_2$）毒性当量，则该热处理盐浴固体废弃物可判定为有害固体废物。

3. 三类废渣处理原理及工艺流程

三类废渣无害化处理的原理就是基于将浸出液内分别含有的Ba^{2+}、CN^-及NO_2^-离子，采用化学方法转变成无毒的沉淀或溶液。

（1）钡盐渣无害化处理采用沉淀法，加入沉淀剂硫酸钠或碳酸钠加硫酸，将可溶性有毒钡盐转变成难溶于水的无毒硫酸钡沉淀。

（2）硝盐渣无害化处理采用氧化法，加入氧化剂次氯酸钠，将易溶于水的有毒亚硝酸盐氧化成无毒的硝酸盐溶液。

（3）氰盐渣无害化处理采用络合法 + 沉淀法。加入硫酸亚铁，先将 CN^- 络合成亚铁氰化盐，再加入氯化铁将亚铁氰化盐转变为铁氰化盐沉淀。

盐浴有害固体废物处理的目的是为了确定盐浴废物是否“有毒、有害”，由此决定是否需要无害化处理。其工艺步骤主要分为：采集废渣、破碎、浸出、过滤、有害成分含量检测由此决定是否需要无害化处理，具体处理工艺流程见标准中图 1。整个预处理过程其实质是“检测”过程，即每个程序均按 GB/T 27945.2—2011 中浸出液检测方法的相关规定执行。

对于处理效果，机械科学研究院曾做过无害化处理前后对比试验，检测结果见表 2.10-1。

表 2.10-1　盐浴废渣处理结果　（单位：mg/L）

采样单位	废渣种类	处理前	处理后	允许含量
某量具刃具厂	中温盐渣 $BaCl_2$（按 Ba^{2+} 计）	1049.2	64.2	100
	高温盐渣 $BaCl_2$（按 Ba^{2+} 计）	1128.2	50.2	
某工具厂	复合盐渣 $BaCl_2$（按 Ba^{2+} 计）	928.9	58.5	100
某研究所	中温盐渣 $BaCl_2$（按 Ba^{2+} 计）	1304.1	82.4	100
	高温盐渣 $BaCl_2$（按 Ba^{2+} 计）	1577.1	86.5	
某汽车有限公司	硝盐渣 $NaNO_2$（按 NO_2^- 计）	416.8	微量	100
某自行车飞轮厂	氰盐渣（按 CN^- 计）	1163.5	1.0	1.0

上述五个单位的盐浴废渣，经过处理后，污有害物（Ba^{2+}、NO_2^-、CN^-）的含量均低于 GB/T 27945.1—2011 中规定的允许量。这就表明本项处理方法的科学性、可靠性和实用性。

4. “无害化”的判定

热处理盐浴废渣无害化处理后，无害化的判定依据 GB/T 27945.1—2011《热处理盐浴有害固体废物的管理　第 1 部分：一般管理》中第 4.3 条的有关规定。

5. 标准实施过程中应注意的几个具体问题

（1）盐浴废渣破碎与处理要采取防护措施。众所周知，氰化物是剧毒物质，它进入人体造成整个细胞色素的氧化还原障碍，使人失去氧而窒息。氰化钠对人致死剂量是 0.1 ~ 0.2g。个种可溶性钡盐随饮用水进入人体有致毒危险，致死剂量是 0.8 ~ 1.0g。亚硝酸盐是致癌致变物质，对人体健康慢性的潜伏性危害较大。因此，盐浴废渣在破碎与处理时采取防护措施是十分必要的。本标准规定操作人员在进行无害化处理时，必须符合安全卫生、劳动保护的有关规定，破碎及处理废渣时（特别是氰盐渣），必须在有通风管道、排气、吸尘和湿法贮存装置的厂房进行，处理设备、容器必须加盖，防渗漏，防腐蚀，严防有害物质流失。

（2）盐浴废渣处理工艺参数的设定。在本标准第 6.1 条中规定了盐浴废渣处理条件，在标准表 3 中有浸出液的酸碱度（即 pH 值范围）、沉淀剂或氧化剂用量与有害物质含量之比（即选择最佳加入量）、氧化还原反应时间（即作用何时反应比较完全）、处理温度（即何种温度适合南北方地区及环境湿度）等。通过大量化学实验分析优选了试验条件，确立了最佳技术参数。

（3）盐浴废渣处理浸出液检测。热处理盐浴固体废物浸出毒性浸出方法按 GB/T 27945.2—2011 的规定执行。三类盐浴废渣的浸出液检测是否合格的判定依据见表 2.10-1。例如，若钡盐渣

的浸出液中 Ba^{2+} 检测结果小于100mg/L，则该钡盐渣的浸出液无需无害化处理，才可参照当地环保部门规定处理。

（4）操作人员要经过一定的培训，在进行无害化处理时，必须符合安全卫生、劳动保护的有关规定。（上海市机械制造工艺研究所有限公司王志强供稿）

三、标准内容（GB/T 27945.3—2011）

热处理盐浴有害固体废物的管理
第3部分：无害化处理方法

1　范围

GB/T 27945 的本部分规定了热处理盐浴有害固体废物的无害化处理工艺和安全技术要求。

本部分适用于热处理盐浴有害固体废物（钡盐渣、硝盐渣、氰盐渣）的无害化处理。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 209　工业用氢氧化钠

GB 320　工业用合成盐酸

GB/T 534　工业硫酸

GB/T 639　化学试剂　无水碳酸钠

GB/T 6009　工业无水硫酸钠

GB 10531　水处理剂　硫酸亚铁

GB 19106　次氯酸钠溶液

GB/T 27945.1　热处理盐浴有害固体废物的管理　第1部分：一般管理

GB/T 27945.2　热处理盐浴有害固体废物的管理　第2部分：浸出液检测方法

HG/T 3474　化学试剂　三氯化铁

HJ/T 299—2007　固体废物　浸出毒性浸出方法　硫酸硝酸法

3　术语和定义

HJ/T 299—2007 界定的以及下列术语与定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 HJ/T 299—2007 中的某些术语与定义。

3.1　固体废物　solid wastes

在生产建设、日常生活和其他活动中产生的污染环境的固态、半固态废弃物质。

3.2　盐浴固体废物　salt bath solid wastes

热处理熔盐在使用过程中产生的一些固态废弃物质。

3.3　浸出液　extract

可溶性组分从固相进入液相后的溶液。

3.4　浸出毒性　leaching toxicity

固体废物遇水浸沥，浸出的有害物质迁移转化并污染环境，这种危害特性称为浸出毒性。

[HJ/T 299—2007，定义2.2]

4　基本原理

4.1　盐浴有害固体废物种类和来源

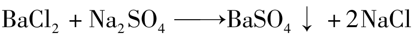
盐浴有害固体废物种类和来源见表1。

表1 盐浴有害固体废物种类和来源

种类	钡盐渣	硝盐渣	氰盐渣
来源	高、中温盐浴	等温、分级淬火和回火等盐浴	碳氮共渗、渗碳、氮碳共渗、硫碳共渗、硫氮碳共渗和碳氮硼共渗等盐浴

4.2 钡盐渣处理原理

钡盐渣处理采用沉淀法。加入沉淀剂硫酸钠或碳酸钠+硫酸，将可溶性钡盐转变成难溶于水的硫酸钡沉淀。其化学反应式：



$$BaCl_2 + Na_2SO_4 \longrightarrow BaSO_4\downarrow + 2NaCl$$

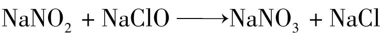
或



$$BaCl_2 + Na_2CO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow BaSO_4\downarrow + 2NaCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

4.3 硝盐渣处理原理

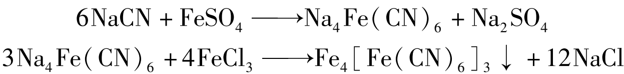
硝盐渣处理采用氧化法。加入氧化剂次氯酸钠，将易溶于水的亚硝酸盐氧化成硝酸盐溶液。其化学反应式：



$$NaNO_2 + NaClO \longrightarrow NaNO_3 + NaCl$$

4.4 氰盐渣处理原理

氰盐渣处理采用络合法+沉淀法。加入硫酸亚铁，先将 CN^- 络合成亚铁氰化盐，再加入氯化铁将亚铁氰化盐转变为铁氰化盐沉淀。其化学反应式：



$$6NaCN + FeSO_4 \longrightarrow Na_4Fe(CN)_6 + Na_2SO_4$$

$$3Na_4Fe(CN)_6 + 4FeCl_3 \longrightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow + 12NaCl$$

5 试剂、材料和设备

5.1 试剂、材料

试剂、材料见表2。

表2 试剂、材料

名　称	分子式	状　态	纯　度	标　准
硫酸	H_2SO_4	液体	工业级($\rho\approx1.84g/cm^3$)	GB/T 534
盐酸	HCl	液体	工业级($\rho\approx1.19g/cm^3$)	GB 320
氢氧化钠	NaOH	固体	工业级	GB 209
次氯酸钠	NaClO	液体	含有效氯13%($\rho\approx1.1g/cm^3$)	GB 19106
无水硫酸钠	Na_2SO_4	液体	工业级(Ⅲ类)	GB/T 6009
无水碳酸钠	Na_2CO_3	固体	工业级	GB/T 639
硫酸亚铁	$FeSO_4\cdot7H_2O$	固体	工业级	GB 10531
三氯化铁	$FeCl_3\cdot6H_2O$	固体	工业级	HG/T 3474

5.2 设备

粉碎机、搅拌机、溶渣槽、过滤器、贮液池和处理槽（缸）等。

6 盐浴有害固体废物处理条件及工艺

6.1 盐浴有害固体废物浸出液制备方法及处理条件

盐浴有害固体废物浸出液制备方法及处理条件见表3。

表 3　盐浴有害固体废物浸出液制备方法及处理条件

项　目	有害固体废物类别		
	钡盐渣	硝盐渣	氰盐渣
颗粒度/mm	1～10		
溶剂	水		
	pH 值≈7		pH 值≥8（用 NaOH 调节）
固液比(渣质量: 水质量)	1: 10		
溶渣方法	浸出 20h 以上或搅拌 8h 或加热煮沸 1～2h		浸出 20h 以上或搅拌 4h
浸出液处理前酸碱度调节至	6≤pH 值≤7	6≤pH 值≤8	4≤pH 值≤5
沉淀剂或氧化剂加入量与有害物质含量之比	Na_2SO_4 或 Na_2CO_3: $BaCl_2$ 为 1.5: 1～2: 1	$NaClO$: $NaNO_2$ 为 1.2: 1～2: 1	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$: $NaCN$ 为 3: 1～4: 1
沉淀或氧化反应时间/h	1～2		
处理温度/°C	15～35		

6.2　盐浴有害固体废物处理工艺流程

盐浴有害固体废物处理工艺流程见图 1，按本标准第 1 部分规定鉴别浸出液的有害毒性。

6.3　有害浸出液处理工艺流程

6.3.1　钡盐渣浸出液处理工艺流程

6.3.1.1　沉淀剂为硫酸钠的钡盐渣浸出液处理工艺流程见图 2。

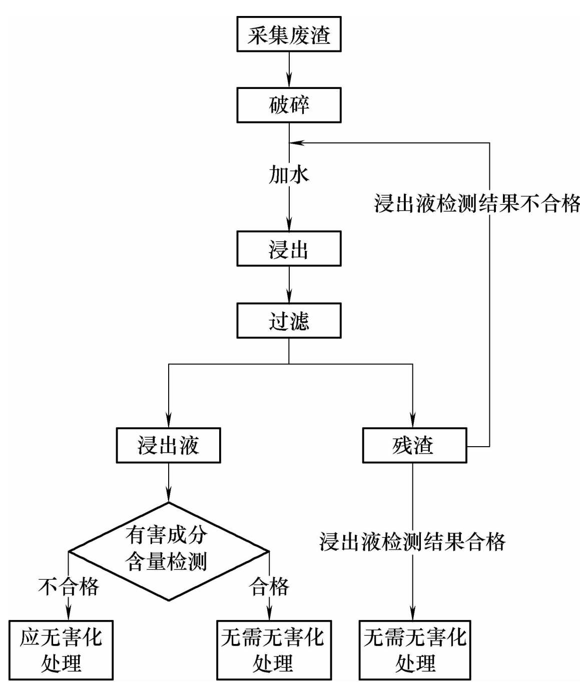


图 1　盐浴有害固体废物处理工艺流程

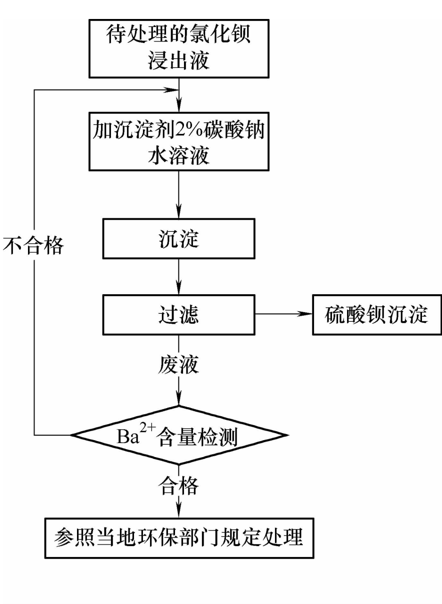


图 2　沉淀剂为硫酸钠的钡盐渣浸出液处理工艺流程

6.3.1.2 沉淀剂为碳酸钠 + 硫酸的钡盐渣浸出液处理工艺流程见图 3。

6.3.2 硝盐渣浸出液处理工艺流程

硝盐渣浸出液处理工艺流程见图 4。

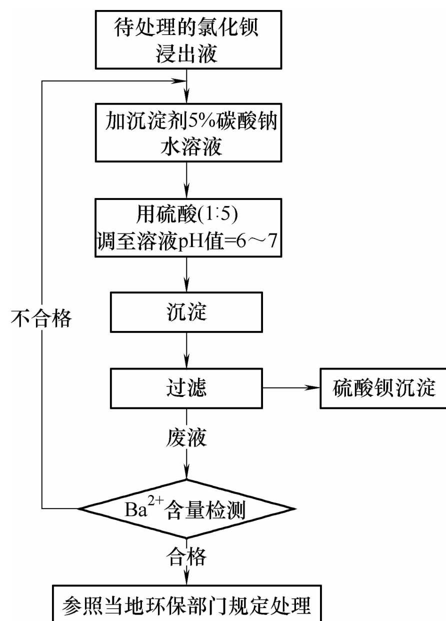


图 3 沉淀剂为碳酸钠加硫酸的钡盐渣浸出液处理工艺流程

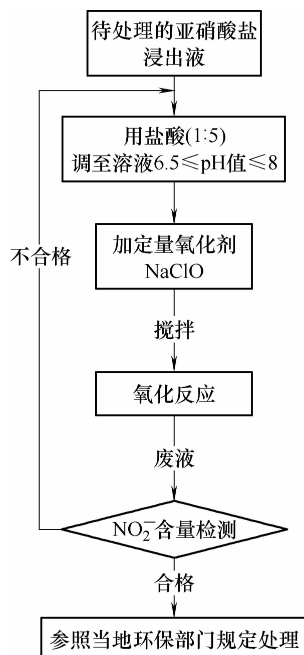


图 4 硝盐渣浸出液处理工艺流程

6.3.3 氰盐渣浸出液处理工艺流程

氰盐渣浸出液处理工艺流程见图 5。

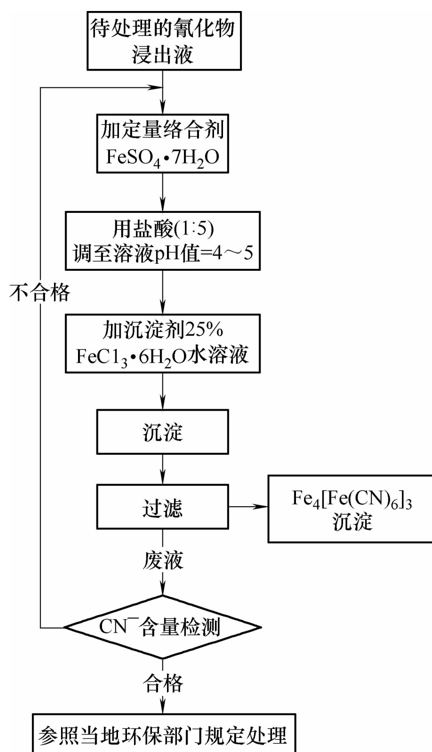


图 5 氰盐渣浸出液处理工艺流程

7 有害物质处置

7.1 钡盐渣、硝盐渣和氰盐渣浸出液的分析方法，按 GB/T 27945.2 的规定进行。

7.2 钡盐渣、硝盐渣和氰盐渣浸出液的浓度应符合 GB/T 27945.1 的规定，方可参照当地环保部门规定处理。

8 安全保护要求

8.1 操作人员在进行无害化处理时，应符合安全卫生、劳动保护的有关规定。

8.2 破碎及处理废渣时（特别是氰盐渣），应在有通风管道、排气、吸尘和湿法贮存装置的厂房进行。

8.3 处理设备、容器应加盖，防渗漏，防腐蚀，严防有害物质流失。

9 监督管理

9.1 处理单位应有处理过程、处理结果和排放批准的记录，并保存。

9.2 处理单位应接受当地环保部门的检查、监督和管理。

第十一节　热处理环境保护技术要求

一、概论

我国装备制造业的高速发展带动了热处理行业的快速发展，由此带来的环境保护问题日益突出。本标准是为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，防止和控制热处理对环境的污染而制定的。

本标准的制订遵循如下原则：

（1）以我国大气和水环境质量标准为目标，综合考虑热处理行业的技术和管理水平及人体健康与生态平衡的需要，使标准既能控制污染、保护环境，又在技术上可行，实用性强。

（2）标准应突出重点，求实不求全，对量大面广的环境污染物做出具体要求。

（3）标准的制定要遵循国家法规，不与国家现行的有关标准和原则相矛盾。

制定本标准时，首先对国内外的有关工业有害物质的分类及其危害性、有害物质的毒理学数据、有害物质的控制及处置标准等资料进行了收集、整理和分析研究。调查收集了我国热处理生产工艺中所用各类工艺材料、中间反应产物及生产性废物等污染源资料，以及热处理目前的环境保护状况等有关资料。

在上述工作的基础上，针对热处理环境污染的特点，确定了制标项目。

在项目控制指标的确定上，主要参考了国家和机械行业现行环境保护有关标准，以及国内外有关资料。

本标准初次制定于 1996 年，为机械行业强制性标准（JB 8434—1996）。随着热处理行业发展的需要，2014 年转换为国家推荐性标准（GB/T 30822—2014）。

二、标准应用说明

1. 适用范围

本标准规定了热处理行业环境保护的基本原则、环境污染的分类及污染物的控制与排放标准等技术要求。本标准适用于从事热处理生产的车间和工厂，也适应于工业企业新建、改建和扩建热处理项目的环境影响评价和环境保护设施设计。

本标准将污染源划分为现有企业和新建企业两类，分别执行相应的环境控制标准。对新污染源从严要求，执行新建企业标准。对现有企业，要求在规定的过渡时限内，通过技术改造和污染治理，达到新标准的要求。

2. 主要内容

热处理对环境的污染，主要表现在生产性废气对大气环境的污染、热处理废水对水环境的污染和固体废物对水与土壤环境的污染，以及噪声、电磁辐射对环境的污染等方面。因此，本标准主要从这几个方面对热处理环境污染的控制技术要求做出具体规定。

（1）热处理废气。在广泛调研的基础上，对热处理废气中主要有害物质的种类及来源做了确定。

本标准中废气排放限值的确定，主要参考了 GB/T 3840—1991《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》、《环境影响评价技术方法》，以及现行国家及部分省市地方标准资料，并参考了国外相关标准资料。大气污染物排放标准一般有两种制定方法：

1）按 GB/T 3840—1991 的技术方法，以各地的气象背景和大气扩散规律为基础，以污染物在环境中的迁移扩散理论及其数学模型为依据，确定与当地自然条件相符合并与 GB 3095—2012《环

境空气质量标准》相容的排放标准。这种排放标准体现了工业废气治理和控制最终努力的目标，但并不意味所定标准对现有工业在技术和经济上是合理的或可行的。

2）按实际工程控制水平制定，它取决于生产工艺、污染治理技术、环境管理水平和经济能力等。概括地说，是以国内外排放标准、目前排放状况和最佳可行治理技术为主要依据确定排放标准值，所提出的标准是现有工业在经济上和技术上是基本可以达到的。

本标准的制定采纳上述第二种方法，并参考了部分省市现行地方排放标准。针对热处理行业工艺特点，对排放量最大的二氧化硫、氮氧化物和一氧化碳三种有害物质（主要来源于燃料加热炉、气体渗碳及碳氮共渗等）和其他六种污染物的排放按最高允许排放浓度规定了排放标准。

对于有害物质的大气排放标准，不仅要考虑对人体健康的影响，而且要考虑对生态环境的影响，目前国内外不同行业的排放标准，差别有时非常悬殊。本标准确定污染物排放浓度指标时，主要参考了热处理行业目前参照执行的大气污染物排放标准 GB 16297—1996《大气污染物综合排放标准》和 GB 9078—1996《工业炉窑大气污染物排放标准》，同时参考了我国北京 DB 11/501—2007《大气污染物综合排放标准》、广东 DB 4427—2002《大气污染物排放限值》、上海《工业炉窑大气污染物排放标准》（待批）等地方排放标准（表 2.11-1）和我国香港及国外相关标准（表 2.11-2）。

表 2.11-1　现行国家和地方大气污染物排放标准　　（单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	GB 16297—1996	GB 9078—1996	北京 DB 11/501—2007	广东 DB 4427—2002	上海(待批)
1	二氧化硫(SO_2)	550	850(二级)	200	500	600(重油)、200(轻油)
2	氮氧化物(以 NO_2 计)	240	无	200	120	400
3	一氧化碳(CO)	无	无	200	1000	80(焚烧炉)
4	氨(NH_3)	无	无	30	无	无
5	氯化氢(HCl)	100	无	30	100	无
6	氟化物(以 F 计)	9.0	6.0(二级)	5.0	9.0	6.0
7	氰化氢(HCN)	1.9	无	1.9	1.9	无
8	油烟	40-140(沥青)、120(总烃)	50(二级)、(沥青)	20(沥青)、80(总烃)	30(沥青)、120(总烃)	50(沥青)
9	颗粒物(粉尘)	60～120	200(二级)	30～50	60～120	20(烟尘)

表 2.11-2　我国香港及国外相关大气污染物排放标准　　（单位：mg/m^3）

序号	污染物项目	香港—2008	新加坡—2001	印度—2002	欧盟—2000	世行 EHS—2008
1	二氧化硫(SO_2)	250	500	200	200～850	50～400
2	氮氧化物(以 NO_2 计)	400	700	400	200～500	120～400
3	一氧化碳(CO)	100	625	50～150	50～150	150～200
4	氨(NH_3)	18(热浸镀)	76	30(制药业)	无	50
5	氯化氢(HCl)	30	200	50	10	10
6	氟化物(以 F 计)	4	50(以 HF 计)	4	1	5
7	氰化氢(HCN)	无	无	无	无	无
8	油烟	20(有机碳)	无	20(有机碳)	无	5(油气)
9	颗粒物(粉尘)	50	100	50～150	5～20	20～50

本标准废气污染物排放限值确定原则为：现有企业的污染物排放浓度限值应严于现行 GB 16297—1996《大气污染物综合排放标准》中新建企业排放标准和 GB 9078—1996《工业炉窑大气污染排放标准》新建企业的二级排放标准值；新建企业的污染物排放限值应达到或接近我国先进地方污染物排放标准或国外发达国家的污染物排放标准。

对于无组织排放的废气，在本标准中也做了具体规定。根据 GB 16297—1996《大气污染物综合排放标准》，无组织排放是指大气污染物不经过排气筒的无规则排放。低矮排气筒的排放属有组织排放，但在一定条件下也可造成与无组织排放相同的后果。一般情况下，排放标准均规定不应有无组织排放存在，但是目前热处理行业实际生产过程中仍无法避免无组织排放现象。

本标准制定大气污染物无组织排放浓度限值的主要目的是限制企业的无组织排放。控制无组织排放的主要途径有两种：一是通过收集污染物的方法来使无组织排放变成有组织排放；二是通过加强管理和改进设备来减少大气污染物的无组织排放量。热处理企业的规模相对较小，排放的二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、氨、氟化物、氯气、氯化氢、油烟、颗粒物等主要大气污染物的量相对较少，目前处理上述大气污染物的技术成熟，在适当增加环保投资和加强管理的基础上可有效控制排放量。

（2）热处理废水。本标准对热处理废水中有害物质的种类和来源做了确定。

本标准废水环保技术要求的主要内容，就是对排入环境的废水中各种有害物质所做的限制规定。

在理想情况下，制定水污染物排放标准应首先了解标准执行区域的环境容量，在此基础上，再制定与之相适应的排放标准。由于本标准为全国性行业标准，执行的地域范围广大，不易弄清执行范围内的环境容量，因此在排放标准的制定上，主要依据是现有的污染物毒理学资料和污染物防治最佳可行技术资料，以及相关的国内外现行排放标准。

本标准规定的 10 项水污染物的排放标准限值，在制定时，主要参考了热处理行业目前参照执行的 GB 8978—1996《污水综合排放标准》，同时参考了 GB 21900—2008《电镀污染物排放标准》、北京 DB 11/307—2005《水污染物排放标准》、广东 DB 4426—2001《水污染物排放标准》、上海 DB 31/199—2009《污水综合排放标准》等地方排放标准（见表 2. 11-3）和我国香港及国外相关标准（见表 2. 11-4）。

表 2. 11-3　现行国家和地方水污染物排放标准　　（单位：mg/L）

序号	污染物项目	GB 8978—1996（二级）	GB 21900—2008	北京 DB 11/307—2005（二级）	广东 DB 4426—2001（二级）	上海 DB 31/199—2009（二级）
1	pH	6～9	6～9	6～9	6～9	6～8.5
2	悬浮物（SS）	150	50	50	30	70
3	化学需氧量 COD	150	80	60	110	100
4	氨氮	25	15	10	15	15
5	总氮	无	20	20（一级）	无	35
6	石油类	10	3	4	8	10
7	总氰化物	0.5	0.3	0.2	0.4	0.3
8	硫化物	1.0	无	0.2	1.0	1.0
9	氟化物	10	10	5	10	10
10	总钡	无	无	无	无	20

表 2.11-4 我国香港及国外相关水污染物排放标准 （单位：mg/L）

序号	污染物项目	香港（技术备忘录 2000 第 32 号）	新加坡—2002	印度—1993	世行 EHS—2008
1	pH	6 ~ 10	6 ~ 9	5.5 ~ 9	6 ~ 9
2	悬浮物(SS)	5 ~ 30	50	100	50
3	化学需氧量 COD	10 ~ 80	100	250	250
4	氨氮	1 ~ 20	无	50	无
5	总氮	10 ~ 50	无	100	15
6	油脂	1 ~ 10	10	10	10
7	氰化物	0.01 ~ 0.4	0.1	0.2	1.0
8	硫化物	0.1 ~ 1	0.2	2.0	1.0
9	氟化物	1 ~ 10	无	2.0	20
10	总钡	0.5 ~ 5	2	无	无

本标准水污染物排放限值确定原则为：现有企业的污染物排放浓度限值应严于现行 GB 8978—1996《污水综合排放标准》中新建企业的二级排放标准值；新建企业的污染物排放限值应达到或接近我国内先进地方污染物排放标准或国外发达国家的污染物排放标准。所确定的污染物排放限值，均是国内外目前采用的废水处理工艺在加强管理的基础上能达到的。

（3）固体废物。根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的规定，固体废物是指在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态物品，物质，以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。

热处理生产过程中产生的固体废物主要为盐浴废渣，淬火水槽、淬火及回火油槽和清洗槽的底部泥渣，以及各种固体废渗剂等。其化学成分一般都比较复杂，且许多为有毒危险废物。

本标准对热处理固体废物的控制和管理要求，是根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的相关规定而制定的。

（4）噪声与电磁辐射。本标准中噪声和电磁辐射控制标准的制定，主要是依据 GB 12348—2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》、国家环境保护局第 18 号令《电磁辐射环境保护管理办法》和 GB 8702—1988《电磁辐射防护规定》（现行标准为 GB 8702—2014）的有关内容。

（5）监测及相关要求。本标准所列各项污染物的测定方法，国家及行业均已颁布相应的标准，本标准按国家有关污染物测定技术方法的标准执行。

对于热处理行业对环境危害较大的热处理油烟废气，目前国家尚无测定方法标准。我国相关测定方法标准有 GB 18483—2001《饮食业油烟排放标准》（红外分光光度法）、HJ/T 45—1999《固定污染源排气中沥青烟的测定 重量法》；国外有美国 National Institute for Occupational Safety and Health（NIOSH）Method 5026-Oil mist，mineral（红外分光光度法），英国 Health and Safety Executive HSE84-Oil mist from mineral oil-based metalworking fluids（重量法）等。本标准参考以上标准的测定方法内容，将重量法和红外分光光度法测定热处理油烟的方法以标准的附录形式附于标准中。（武汉材料保护研究所张炼供稿）

三、标准内容（GB/T 30822—2014）

热处理环境保护技术要求

1　范围

本标准规定了热处理行业环境保护的污染物分类和来源及污染物的控制与排放技术要求、监督管理等。

本标准适用于从事热处理生产的工厂和车间，工业企业新建、改建、扩建热处理项目的环境影响评价、环境保护工程设计、竣工环境保护验收及生产过程的污染物防治和管理。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5085.1　危险废物鉴别标准　腐蚀性鉴别
GB 5085.2　危险废物鉴别标准　急性毒性初筛
GB 5085.3　危险废物鉴别标准　浸出毒性鉴别
GB 5085.4　危险废物鉴别标准　易燃性鉴别
GB 5085.5　危险废物鉴别标准　反应性鉴别
GB 5085.6　危险废物鉴别标准　毒性物质含量鉴别
GB 5085.7　危险废物鉴别标准　通则
GB 8702　电磁辐射防护规定
GB 8978　污水综合排放标准
GB 12348　工业企业厂界环境噪声排放标准
GB/T 16157　固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
GB 16297　大气污染物综合排放标准
GB 18597　危险废物贮存污染控制标准
GB/T 27945.1　热处理盐浴有害固体废物的管理　第1部分：一般管理
GB/T 27945.2　热处理盐浴有害固体废物的管理　第2部分：浸出液检测方法
GB/T 27945.3　热处理盐浴有害固体废物的管理　第3部分：无害化处理方法
GB/T 27946　热处理工作场所空气中有害物质的限值

3　术语和定义

GB 5085.7、GB 16297、GB/T 27945.1 ~ GB/T 27945.3、GB/T 27946 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB 5085. 7、GB 16297 中的一些术语和定义。

3.1　现有企业　existing pollution source

本标准实施之日前已建成投产或环境影响报告书已通过审批的热处理企业或项目。

3.2　新建企业　new pollution source

本标准实施之日起环境影响报告书通过审批的热处理企业或项目。

3.3　排气筒高度　discharge pipe height

自排气筒（或其主体建筑构造）所在的地平面至排气筒出口处的高度。

3.4　无组织排放　inorganization emission

大气污染物不经过排气筒的无规则排放。低矮排气筒的排放属有组织排放，但在一定条件下也可造成与无组织排放相同的后果。因此，在执行“无组织排放监控浓度限值”指标时，由低矮排

气筒造成的监控点污染物浓度增加不予扣除。

［GB 16297—1996，定义 3.4］

3.5　固体废物　solid waste

在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态物品、物质，以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。

［GB 5085.7—2007，定义 3.1］

3.6　危险废物　hazardous waste

列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性和感染性等一种或一种以上危险特性，以及不排除具有以上危险特性的固体废物。

［GB 5085.7—2007，定义 3.2］

4　污染的分类和来源

热处理对环境的污染分为化学性污染和物理性污染，主要来源见表 1。

表 1　热处理环境污染的来源

类别	污染物		来源
化学性污染	废气	一氧化碳	燃料或气氛燃烧、气体渗碳及碳氮共渗等
		二氧化硫	燃料或气氛燃烧、渗硫及硫碳氮共渗
		氮氧化物	燃料或气氛燃烧、硝盐浴、碱性发黑
		氰化氢及碱金属氰化	液体渗碳、气体和液体碳氮共渗及氮碳共渗
		氨	渗氮、氮碳共渗、硫氮碳共渗等
		氯及氯化物、氟化物	高温及中温盐浴、渗硅、渗硼及渗金属、物理及化学气相沉积、酸洗、热浸镀锌及热浸镀铝助镀剂等
		烷烃、苯、二甲苯、甲醇、乙醇、异丙醇、丙酮、三乙醇胺、苯胺、甲酰胺、三氯乙烯等有机挥发性气体	气体渗碳及碳氮共渗剂、保护气氛加热、有机清洗剂等
		油烟	淬火油、回火油、零件加热
		盐酸、硝酸、硫酸蒸气	酸洗
		苛性碱及亚硝酸盐蒸气	氧化槽、硝盐浴、碱性脱脂槽
		粉(烟)尘	燃料炉、各种固体粉末法化学热处理、热浸镀锌及热浸镀铝、喷砂和喷丸
	废水	氰化物	液体渗碳、碳氮共渗及硫氮碳共渗等
		硫及其化合物	渗硫及硫氮等多元共渗
		氟的无机化合物	固体渗硼及渗金属
		锌及其化合物	热浸镀锌及渗锌
		铅及其化合物	热浸镀锌、防渗碳涂料
		钒、铬、锰及其化合物	渗钒、渗铬、渗锰
		钡及其化合物	残盐清洗、淬火废液
		有机聚合物	有机淬火介质
		残酸、残碱	酰洗、脱脂
		石油类	淬火油、脱脂清洗
	固体废物	氰盐渣	液体渗碳、碳氮共渗及硫氮碳共渗等盐浴
		钡盐渣	高温及中温盐浴

（续）

类别	污染物		来源
化学性污染	固体废物	硝盐渣	硝盐槽、氧化槽
		锌灰及锌渣	热浸镀锌
		酸泥	酸洗槽
		含氟废渣	固体渗硼剂、粉末渗金属剂
		混合稀土废渣	稀土多元共渗剂及稀土催渗剂
物理性污染	噪声		燃烧器、真空泵、压缩机、通风机、喷砂和喷丸
	电磁辐射		中频、高频、超音频感应加热设备

5　污染物的控制与排放技术要求

5.1　总体要求

新建、改建、扩建和技术改造项目的热处理建设项目，应编制审查环境影响报告书（表）。环境影响报告书（表）的内容、格式和要求，应符合环境保护部门的有关规定。

5.2　废气控制

5.2.1　热处理生产车间应设立废气收集、治理和有组织排放设备。排放设备应按照设计规范设计，其排气筒最低允许高度为15m，并应高出邻近200m半径范围的建筑物3m以上。

5.2.2　企业大气污染物的排放限值，应符合GB 16297和GB/T 27946的规定。

5.2.3　生产过程中产生的油烟，应在车间安装油烟捕集器或油烟清洁器，将含油的气体经过净化处理或回收后再排出。

5.2.4　应严格控制废气的无组织排放，无法避免的无组织排放其排放源周围大气中所承受的有害物质浓度限值应符合GB 16297、GB/T 27946及相关法律、法规的规定。

5.2.5　无组织排放有毒有害气体的，凡有条件的，均应加装引风装置，进行收集、处理，改为有组织排放。新扩改项目需从严控制，一般情况下不应有无组织排放存在。

5.2.6　废气的监测取样点应设在无害化处理装置排出口处；未安装无害化处理装置的，取样点设在排放浓度最大排放口处。热处理油烟的测定见附录A和附录B。

5.3　废水控制

5.3.1　企业水污染物排放浓度限值应符合相关法律、法规及GB 8978的规定。

5.3.2　含油废水应进行去（除）油处理，使油水分离达到污水净化。

5.3.3　废水中污染物浓度超过相关法规规定时，应进行无害化处理。不允许用稀释的方法来达到规定的浓度标准。

5.3.4　热处理生产车间应设置污水收集装置和污水处理设施，并尽可能使处理后的污水循环再用。

5.3.5　当污水处理设备发生故障时，应及时修复，确保废水能按标准排放。设备修复期间应采取临时措施，仍达不到排放标准则不得排放，应妥善贮存，待处理合格后方可排放。

5.3.6　废水的监测取样应符合GB 8978的规定，并应注意生产工艺和排水量的变化，以使水样具有足够的代表性。

5.4　固体废物的控制

5.4.1　热处理固体废物的收集、贮存、运输、利用和处置，应采取防扬散、防流失、防渗漏或者其他防止污染环境的措施，不得擅自倾倒、堆放、丢弃、遗撒固体废物。

5.4.2 禁止向江河、湖泊、运河、渠道、水库及其最高水位线以下的滩地和岸坡等法律、法规规定禁止倾倒、堆放废弃物的地点倾倒、堆放固体废物。

5.4.3 危险和有害废物的鉴别应符合 GB 5085.1 ~ GB 5085.7、GB/T 27945.2 的规定。经鉴别确认的危险废物按 GB/T 27945.3 要求进行无害化处理。危险废物经无害化处理，鉴别合格者，可作为一般固体废物处置。

5.4.4 对暂没有条件进行无害化处理的危险废物，应专设具有防水淋、防扩散、防渗漏的贮存场所，贮存设施应符合 GB 18597 的要求。积存的危险废物，应统一送往当地环保部门指定的单位进行处置。

5.4.5 热处理一般固体废物应分类贮存，不得混入有害固体废物。热处理企业对于积存的一般固体废物，应按当地环保部门相关规定处置或者交给有固体废物经营资格的单位集中处置。

5.5 噪声控制

热处理车间各类生产装置发出的噪声对近邻区影响所波及的整个范围，噪声值不得超过 GB 12348的规定。

5.6 电磁辐射控制

5.6.1 拥有功率超过 GB 8702 规定的豁免水平的感应加热设备的企业或个人，应向所在地区的环境保护部门申报、登记，并接受监督。

5.6.2 新建或购置豁免水平以上的感应加热设备的企业或个人，应事先向环境保护部门提交环境影响报告书（表）。

6 监督管理

6.1 热处理企业应建立健全环境监测职能部门及管理制度，建立污染源档案，对本单位的污染物排放情况进行经常性的定量监测。

6.2 本标准的监测执行国家颁布的采样、分析和测定方法标准。国家标准尚未规定统一监测方法的项目，由当地环保部门选定采样和分析方法。

6.3 当执行本标准不能满足当地环境要求时，应以当地地方环境标准的规定为准。

附 录 A

（规范性附录）

热处理油烟的测定方法 重量法

A.1 原理

用等速采样法抽取油烟排放源的气体，将油烟吸附于油烟采集器内的滤筒中，由采样前后滤筒重量的增量计算油烟的浓度。若油烟气中含有显著的固态颗粒物，则将采样后滤筒吸附的油性物质用环已烷萃取，并计算出油烟浓度。

A.2 试剂

环已烷：分析纯，经重蒸收集≤82°C 馏分，其空白残渣应小于 1mg/100mL。

A.3 仪器

A.3.1 采样器，“普通型采样管法（预测流速法）”配置和组合采样仪器应符合 GB/T 16157 的规定。

A.3.2 滤筒，ϕ32mm 超细玻璃纤维或聚氯乙烯滤筒，对 0.5μm 粒子的捕集效率应不低于 99.9%。

A.3.3 流量计，测量精度应不低于 0.1L/min。

A.3.4 分析天平，感量 0.1mg。

A.4 采样

A. 4. 1　采样点和采样频次

A. 4. 1. 1　采样位置和采样点应符合 GB/T 16157 的规定。

A. 4. 1. 2　采样时间和采样频次：连续 1h 抽取油烟排放源气体，计算油烟浓度平均值；或在 1h 内，以等时间间隔采集 5 个样品，取平均值。每点采样时间视油烟浓度而定，原则上每点采样时间不少于 10min。

A. 4. 2　采样前的准备

A. 4. 2. 1　将玻璃纤维滤筒在实验室干燥器中平衡 24h 后称重并编号，每组中留出几个滤筒作为空白样品，每 20 个滤筒中至少应留出 3 个空白样品。所有滤筒应放在干净的器皿中妥善保存。

A. 4. 2. 2　将按 A. 4. 2. 1 处理的滤筒用干净的镊子夹持，装入清洁、干燥的采样器内，记下滤筒编号。

A. 4. 2. 3　检查采样系统所有仪器的连接和功能是否正常，并对采样系统进行检漏，如发现漏气现象，应分段检查、堵漏，直到满足检漏要求。

A. 4. 3　采样步骤

A. 4. 3. 1　将采样管置于第一采样点处，设定采样时间，打开采样器开关，调节抽气泵使通过滤筒的气体达到某一合适的流量（1～3L/min），流量的精确度应达到 ±5%。

A. 4. 3. 2　采样期间，由于油烟颗粒物在滤筒上逐渐聚集，阻力会逐渐增加，需随时调节控制阀以保持等速采样流量，并记下该点的采样延续时间。

A. 4. 3. 3　一点采样后，立即将采样管按顺序移到第二个采样点，同时调节流量至第二个采样点所需的等速采样流量。依次类推，顺序在各点采样。各点采样时间应相等。

A. 4. 3. 4　采样结束后，关闭抽气泵，用镊子将滤筒取出，轻轻敲打前弯管，并用细毛刷将附着在弯管内的尘粒刷到滤筒中。

A. 4. 3. 5　收集了油烟的滤筒样品应放入专用盒中保存。样品应尽快测定。不能及时测定的样品，应放在实验室冰箱的冷藏室中保存。

A. 4. 3. 6　采样前后均保证没有其他带油渍的物品污染滤筒。

A. 4. 3. 7　空白滤筒应经历和样品滤筒尽可能相同的温度和湿度条件，但不进行抽气程序。

A. 5　样品测定和结果计算

A. 5. 1　样品滤筒的称重

将采样后的滤筒放在实验室干燥器中，在与空白滤筒平衡条件相同的温度、湿度下平衡 24h 后，用天平称量样品滤筒和空白滤筒的重量。

A. 5. 2　总烟尘浓度的计算

样品中总烟尘浓度按式（A. 1）计算：

$$c_1 = \frac{[(m_2 - m_1) - \Delta \overline{m}_1] \times 1000}{Ft} \tag{A. 1}$$

式中　c_1——某样品中总烟尘（油烟及其他气态颗粒物的总和）浓度（mg/m^3）；

m_1——取样前滤筒重量（mg）；

m_2——取样后滤筒重量（mg）；

$\Delta \overline{m}_1$——空白滤筒平均重量差值（mg）；

F——平均采样流量（L/min）；

t——采样时间（min）。

A. 5. 3　油烟浓度的计算

样品中总烟尘浓度超过 2. 5mg/m^3 时，应对样品中的油烟萃取后进行测定。萃取方法如下：

把样品滤筒用重蒸后的环己烷溶剂浸泡 1h 后取出滤筒，更换新溶剂重复浸洗 1h。取出滤筒，

待环己烷蒸发完后将滤筒放在干燥器中平衡 24h 后称重。

样品中油烟浓度按式（A.2）计算：

$$c_2 = \frac{[(m_2 - m_3) - \Delta \overline{m}_2] \times 1000}{Ft} \tag{A.2}$$

式中 c_2——某样品中油烟浓度（mg/m^3）；

m_2——样品滤筒溶剂浸洗前重量（mg）；

m_3——样品滤筒溶剂浸洗后重量（mg）；

$\Delta \overline{m}_2$——空白滤筒平均重量差值（mg）；

F——平均采样流量（L/min）；

t——采样时间（min）。

A.6 油烟排放浓度

同一个采样截面的油烟平均浓度应按 GB/T 16157 的规定计算，并进一步按 1h 内的采样频次计算平均值，即为油烟的“排放浓度”。

附 录 B

（规范性附录）

热处理油烟的测定方法 红外分光光度法

B.1 原理

用等速采样法抽取油烟排放源的气体，将油烟吸附于油烟采集器内的滤筒中。将收集了油烟的滤筒用四氯化碳作溶剂进行清洗萃取，然后用红外分光光度法测定萃取液在波数 $2930cm^{-1}$ 附近吸收峰的吸光度，根据吸光度与浓度的线性关系计算出油烟的含量。

B.2 试剂

B.2.1 四氯化碳：分析纯，经重蒸收集。

B.2.2 标准油贮备液：准确称取 0.1g 热处理油原液，溶于适量的四氯化碳中，移至 100mL 容量瓶，用四氯化碳稀释至刻度，得浓度为 10mg/mL 的标准油贮备液。

油剂标准液系列：移取一定量的标准油贮备液于一系列 50mL 容量瓶中，分别用四氯化碳稀释至刻度配成标准油系列（浓度范围 1～50mg/L）。

B.3 仪器和设备

B.3.1 采样仪器，按 A.3 配置。

B.3.2 红外分光光度仪或测油仪，能在 $3400 \sim 2400cm^{-1}$ 之间进行扫描操作，并配有 3cm 或 4cm 带盖石英比色皿。

B.3.3 容量瓶，25mL、50mL。

B.3.4 比色管，25mL。

B.4 采样

参照 A.4。

B.5 样品测定步骤

B.5.1 工作曲线绘制

将油剂标准液与四氯化碳分别移入比色皿中，以四氯化碳为空白测定油剂标样在 $3400 \sim 2400cm^{-1}$ 之间吸收峰的吸光度值，然后用溶液浓度相对于吸光度绘图，即得工作曲线。

B.5.2 油烟样品测定

B.5.2.1 样品中油烟的萃取

B. 5. 2. 1. 1　把采样后的滤筒用重蒸后的四氯化碳溶剂 10mL，浸泡在带盖的清洗杯中，盖好清洗杯盖，摇晃振荡 5min。把清洗液转移到 25mL 比色管中。

B. 5. 2. 1. 2　用 10mL 四氯化碳重复萃取一次。然后用适量四氯化碳洗涤漏斗，加四氯化碳稀释至标线定容，并摇匀。把清洗液转移到 25mL 比色管中。

B. 5. 2. 2　样品萃取液吸光度的测定

按 B. 5. 1 操作，测定样品萃取液在 $2930cm^{-1}$附近吸收峰的吸光度，再从工作曲线上查出萃取液中所含油烟的浓度（mg/L）。

B. 5. 3　油烟浓度计算

采样口油烟浓度按式（B. 1）计算：

$$c_1 = \frac{c_2 V_2 / 1000}{Ft} \tag{B. 1}$$

式中　c_1——某样品中油烟浓度（mg/m^3）；

c_2——样品滤筒萃取液油烟浓度（mg/L）；

V_2——样品滤筒萃取液稀释定容体积（mL）；

F——平均采样流量（L/min）；

t——采样时间（min）。

B. 5. 4　油烟的“排放浓度”计算

同一个采样截面的油烟平均浓度应按 GB/T 16157 的规定计算，并进一步按 1h 内的采样频次计算平均值，即为油烟的“排放浓度”。

第十二节　热处理清洗废液回收及排放技术要求

一、概论

改革开放以来，特别是近 10 年，热处理行业进入高速发展期，全国各地大大小小的热处理厂家不断涌现。在热处理行业发展迅猛之势下，热处理对环境的污染也逐渐凸显出来。许多厂家为了追求高额利润，忽视了对环境治理的管理。热处理废渣乱倒，废水横流等现象比比皆是。特别是热处理清洗剂废液的排放给当地居民生活和生态环境带来无穷的隐患。在美国热处理技术发展路线图 2020 年目标中，热处理生产零排放作为其中一项重要的目标。“十二五”我国热处理行业发展目标中把节能减排作为热处理行业调整经济结构，转变发展方式的重点来抓。明确指出有害剩余物料的排放全部达到规定限值。

热处理行业的清洗环节主要有两个：一是热处理前的清洗，主要是清洗前道工序残留的切削油、切削液及防锈油等附着物；二是热处理后清洗，主要是清洗淬火后的残留淬火油、淬火用盐等。清洗废液中主要含有油类、表面活性剂等有机污染物，亚硝酸盐、重金属等有毒污染物，氮、磷等营养性污染物。这些物质对人类、动植物乃至整个生态系统都会产生不良的影响：油类污染物能阻止空气中的氧溶于水中，使水中浮游生物等因缺氧而死亡，并导致鱼和贝类等变味，不宜食用，而且在水体表面的聚结油也可能燃烧而产生安全问题；有机污染物可造成水中溶解氧缺乏，同时有机物又通过水中厌氧菌的分解引起腐败现象，产生甲烷、硫化氢、硫醇和氨等恶臭气体，使水体变质变臭；有毒污染物一部分易被水中悬浮颗粒所吸附，而沉淀于水底的沉积层中，长期污染水体，一部分在鱼类及水生物体内沉积，而造成危害，人类通过食物链的作用，使有毒物质在体内累积富集而中毒，甚至导致死亡；营养性污染物可引起藻类和其他浮游生物迅速繁殖，水体溶解氧含

量下降，水质恶化，鱼类及其他生物大量死亡。因此，需采取相应的措施来控制热处理清洗废液对环境的危害：一方面需要规定各类工业加工介质（如切削油、切削液、淬火油、清洗剂等）的环保性能要求；另一方面在热处理生产车间应建立污水处理设施，或者将废液集中收集后交由专业的废水处理厂家进行处理，达到排放要求后才能排放或者回收使用。因此，热处理行业急需制定相应的标准来规范热处理清洗废液回收和排放的要求，以促进热处理行业环保方面的技术水平得到提高，减少热处理行业对环境的危害。

本标准综合了国内外的废水处理方法及排放标准，制定出符合目前实际情况的标准。一方面列举了常规的废水处理方法，为该废水处理达标提供参考意见，同时在处理方法上又不拘泥于现行的方法；另一方面明确提出了废水处理后的排放要求及检测方法。

二、标准应用说明

本标准规定了热处理清洗废液经无害化处理后回收及排放的技术要求和检测方法，同时给出了热处理清洗废液的处理和回收工艺等。

本标准的技术内容主要包括以下几方面：①规定了热处理清洗废液经处理后排放的技术要求；②规定了热处理硝盐残盐废液经处理后回收的技术要求；③给出了不同项目的检测方法；④给出了废液处理和硝盐残盐回收的常用方法。

1. 技术要求

本标准主要技术内容是参照国内外关于含油废水处理的文献资料并经多次验证而确定的，技术指标是参考国家标准和行业标准，结合多次试验的结果而确定的。热处理清洗废液最高容许排放浓度（见标准中表3），参考标准 GB/T 30822 和 JB/T 7740 中对几项污染物的规定，符合 GB 8978 规定的第二类污染物最高允许排放浓度二级标准。

热处理硝盐残盐的清洗废液回收的技术要求（见标准中表2），来源于 JB/T 6955 的规定。

标准中表2、表3 的技术指标均为废液排放前或硝盐回收使用前的检测指标。废液中污染物浓度超过标准中表3 规定时，应进行无害化处理，处理方法见标准中附录 B。不允许用稀释的方法来达到规定的浓度指标。硝盐残盐清洗废液经处理后，回收的技术要求按照标准中表2 规定，处理方法见标准中附录 A。附录 A 为常用硝盐回收方法的介绍，附录 B 为常用热处理清洗废液处理的基本方法介绍，供厂家进行废液处理与回收时参考。

2. 技术指标的检测方法

各项技术指标的检测按照相关国家和行业标准规定的方法进行。

3. 主要试验情况分析

在本标准草案的试验研究过程中，对采集的某热处理厂家的清洗废液进行处理，并检测了废液处理前后主要技术参数，参考 GB 8978《污水综合排放标准》，分析了热处理清洗废液处理后可达到的技术要求。废水处理工艺流程图如图 8.12-1 所示。

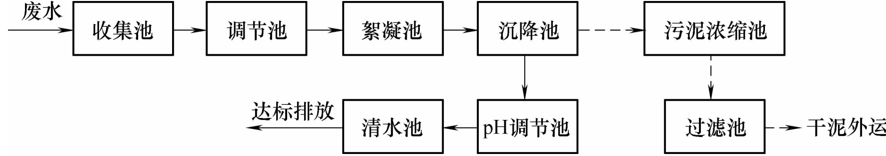


图 8.12-1 废水处理工艺流程

处理工艺简述如下：

1）废水首先检测 pH 值，加酸液或无机盐，在适当的条件下，使乳化的油析出，并且使清洗

废液中的阴离子表面活性剂在酸性溶液中分解而失去稳定性，从而达到破乳的目的。

2）适当加入碱液（氢氧化钠、石灰乳），使体系 pH 值控制在 6～9，此时形成细小的絮凝物。

3）加入无机高分子絮凝剂（聚合氯化铝、聚合氯化铝铁、聚合硫酸铁等）和有机高分子絮凝剂（聚丙烯酰胺），细小的颗粒及凝聚物在高分子絮凝剂的作用下吸附桥链长大为絮团。

4）污泥沉降过滤分离后，对液体进行成分检测。

任何一个废水处理项目的建立，由于原水水质不同，都要通过试验来确定具体工艺参数。需考查的因素主要有：

1）絮凝剂种类的筛选。

2）最佳絮凝剂投加量。

3）最佳 pH 值。

通过以上的试验分析，热处理清洗废液能达到排放标准，一方面要求清洗剂和清洗介质具有环保性能；另一方面在热处理生产车间应设置污水处理设施，或者将废液集中收集后交由专业的废水处理厂家进行处理，达到排放要求后才能排放或者回收使用。

4. 本标准与现行相关标准的关系

在废水排放的技术要求方面，我国有一些关于污水或污染物排放的通用标准，如 GB 8978《污水综合排放标准》、GB 18918《城镇污水处理厂污染物排放标准》；JB 7740《机械工业含油废水排放规定》、GB/T 30822《热处理环境保护技术要求》等。这些标准主要对各种污染物进行了等级划分，同时规定了各种污染物能达到排放要求的最高允许排放浓度。同时根据不同地区对环保的要求，对最高允许排放浓度具有一定的弹性范围。

《热处理清洗废液回收及排放技术要求》标准的制定对我国热处理行业的废液排放提出了规范性的技术要求。借助于本标准，可督促生产方正确使用原材料，合理调整生产工艺，完善检测手段，使其生产出安全环保性的产品；可促使使用方合理、高效地使用产品，保证热处理工艺质量的同时，降低对环境的污染。本标准的制定能够全面提高我国热处理行业的制造和加工水平，促进热处理清洗废液排放的规范性，减少环境污染，降低能耗，符合了国家规定的节能减排的要求。（标准起草工作组供稿）

三、标准内容（GB/T 待批）

热处理清洗废液回收及排放技术要求

1　范围

本标准规定了热处理清洗废液中污染物的分析方法、废液的无害化处理方法、废液回收与排放技术要求。

本标准适用于热处理生产加工车间和企业废水处理与排放。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6920　水质　pH 值的测定　玻璃电极法

GB 7472　水质　锌的测定　双硫腙分光光度法

GB/T 7475　水质　铜、锌、铅、镉的测定　原子吸收分光光度法

GB/T 7484　水质　氟化物的测定　离子选择电极法

GB 8978　污水综合排放标准

GB 11893　水质　总磷的测定　钼酸铵分光光度法
GB 11901　水质　悬浮物的测定　重量法
GB 11906　水质　锰的测定　高碘酸钾分光光度法
GB 11911　水质　铁、锰的测定　火焰原子吸收分光光度法
GB/T 14671　水质　钡的测定　电位滴定法
GB/T 15503　水质　钒的测定　钽试剂（BPHA）萃取分光光度法
GB/T 16489　水质　硫化物的测定　亚甲基蓝分光光度法
GB/T 30822　热处理环境保护技术要求
JB/T 6955　热处理常用淬火介质技术要求
JB/T 7740　机械工业含油废水排放规定
HJ/T 86　水质　生化需氧量（BOD）的测定　微生物传感器快速测定法
HJ/T 195　水质　氨氮的测定　气相分子吸收光谱法
HJ 399　水质　化学需氧量的测定　快速消解分光光度法
HJ 484　水质　氰化物的测定　容量法和分光光度法
HJ 493　水质采样　样品的保存和管理技术规定
HJ 494　水质采样技术指导
HJ 535　水质　氨氮的测定　纳氏试剂分光光度法
HJ 536　水质　氨氮的测定　水杨酸分光光度法
HJ 537　水质　氨氮的测定　蒸馏-中和滴定法
HJ 602　水质　钡的测定　石墨炉原子吸收分光光度法
HJ 603　水质　钡的测定　火焰原子吸收分光光度法
HJ 637　水质　石油类和动植物油的测定　红外光度法
HJ 673　水质　钒的测定　石墨炉原子吸收分光光度法

3　术语与定义

3.1　热处理清洗废液　cleaning liquid waste for heat treatment

指在热处理生产过程中清洗工件表面污物后产生的废液的总称。这些废液中的污物主要包括：前道工序残留的切削油、切削液和防锈油等，淬火后残留的淬火油、熔盐等。

3.2　破乳　demulsification

指使清洗废液失去稳定性，消除或减弱乳化剂保护乳化液稳定的能力，破坏油-水界面上的吸附膜，使油水两相分层析出的过程。

4　废液中污染物的分析方法

废液中污染物的分析测定方法见表1。

表1　污染物的分析及测定方法

序　号	项　目	测定方法	方法来源
1	pH值	玻璃电极法	GB 6920
2	悬浮物(SS)	重量法	GB 11901
3	化学需氧量(COD)	快速消解分光光度法	HJ 399
4	五日生化需氧量(BOD_5)	微生物传感器快速测定法	HJ/T 86
5	氰化物(以CN^-计)	容量法与分光光度法	HJ 484
6	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	GB/T 16489

（续）

序　　号	项　　目	测 定 方 法	方 法 来 源
7	氟化物	离子选择电极法	GB/T 7484
8	磷酸盐	钼酸铵分光光度法	GB 11893
9	锌	原子吸收分光光度法	GB/T 7475
		双硫腙分光光度法	GB 7472
10	铅	原子吸收分光光度法	GB/T 7475
11	锰	火焰原子吸收分光光度法	GB 11911
		高碘酸钾分光光度法	GB 11906
12	钒	钽试剂（BPHA）萃取分光光度法	GB/T 15503
		石墨炉原子吸收分光光度法	HJ 673
13	钡	电位滴定法	GB/T 14671
		石墨炉原子吸收分光光度法	HJ 602
		火焰原子吸收分光光度法	HJ 603
14	氨氮	纳氏试剂分光光度法	HJ 535
		蒸馏中和滴定法	HJ 537
		水杨酸分光光度法	HJ 536
		气相分子吸收光谱法	HJ/T 195
15	石油类	红外分光光度法	HJ 637

5　废液回收技术要求

5.1　清洗硝盐残盐的废液经处理后可以回收再利用，硝盐回收的一般方法按附录 A，回收后的硝盐成分应满足表 2 要求，符合 JB/T 6955 的规定。

表 2　硝盐回收技术要求

序　　号	项　　目	质量分数（%）	序　　号	项　　目	质量分数（%）
1	pH 值（无量纲）	6.5～8.5	4	碳酸根	≤0.05
2	硫酸根	≤0.5	5	水分	≤0.5
3	氯离子	≤0.3			

5.2　热处理生产车间应设置污水处理设施，并尽可能使经处理的硝盐循环再用。

6　废液排放的技术要求

6.1　未经处理的废液不应直接排放，严防跑、冒、滴、漏，废液经处理达标后方可排放。

6.2　当废液从排放口直接排放到公共水域时，企业应在总排放口、车间或工段排放口采样。乳化液废水应在工作台收集池采样，或在处理设施出口采样。

6.3　水样从排放企业的车间采集后，样品的保存应符合 HJ 493 的规定。

6.4　企业排放口的含油废液水质控制指标应满足表 3 热处理清洗废液最高容许排放浓度要求，符合 GB 8978 规定的污染物最高允许排放浓度二级标准和 GB/T 30822、JB/T 7740 中对排污物的规定。

6.5　废液中污染物浓度超过表 3 规定时，应进行无害化处理，处理方法按附录 B。不允许用稀释的方法来达到规定的浓度指标。

表 3 热处理清洗废液中污染物最高容许排放浓度

序号	污染物项目	最高容许排放浓度/(mg/L)	序号	污染物项目	最高容许排放浓度/(mg/L)
1	清洗废液	pH 值为 6 ~ 9	9	锌	5.0
2	悬浮物(SS)	150	10	铅	1.0
3	化学需氧量(COD)	150	11	锰	2.0
4	五日生化需氧量(BOD_5)	30	12	钒	1.0
5	氰化物(以 CN^- 计)	0.5	13	钡	5.0
6	硫化物	1.0	14	氨氮	25
7	氟化物	10	15	石油类	10
8	磷酸盐	1.0			

6.6 热处理生产车间应设置污水处理设施，并尽可能使经处理的水循环再用。

6.7 当污水处理设备发生故障时应及时修复或采取有效措施，确保废水仍能按表 3 规定排放。若仍达不到排放标准则应妥善贮存，待处理合格后方可排放。

6.8 废水的监测取样应符合 HJ494 的规定，并应注意生产工艺和排水量的变化，以使水样具有足够的代表性。

附 录 A
(资料性附录)
常用硝盐回收方法

热处理车间广泛使用硝盐做淬火剂，消耗量大，对工件表面硝盐残盐清洗后的废液进行回收再利用，从而减少排放量，也是减少污染，保护环境的重要措施之一。因此提供了硝盐回收的基本方法，供厂家进行废液回收时参考。

A.1 清洗

工件硝盐淬火后经冷却降温，进入清洗机清洗。清洗过程一般是热水浸入清洗、清水喷淋清洗、热风烘干或真空干燥。清洗机采用加热器加热水并有循环发泡系统可提高清洗效果。设有液位控制及补水装置。清洗机在设计上可增加清洗区，以提高盐的洗净率。

A.2 分离

清洗机上一般附带盐分离器进行盐水分离，其方式是盐液中水分被加热蒸发并经冷凝后流回清洗机。硝盐则在结晶后继续使用。清洗机中带有盐分检测装置，检测水中盐含量，当达到一定浓度时即抽出盐液进行分离。

附 录 B
(资料性附录)
常用热处理清洗废液处理的基本方法

提供了热处理清洗废液处理的基本方法，供厂家进行废液处理时参考。

B.1 预处理

通常预处理是先油水分离，再进行破乳，进一步去除残余的有机、无机污染物。

B.1.1 油水分离

油水分离方法包括重力法、粗粒化法、水力旋流法等。热处理清洗剂中的含油废液须经过油水分离，可以去除浮油和部分的分散油，但要去除水中的乳化油，还需要进行破乳处理。

B.1.2 破乳

破乳是处理废液的关键环节。破乳方法有盐析法、过滤法、气浮法、混凝法、电解法和膜超滤法等。热处理用的清洗剂含有表面活性剂，使油污均匀地分散在水中，具有相当的稳定性。要使废乳化液失去稳定性，就必须设法消除或减弱乳化剂保护乳化液稳定的能力，破坏油-水界面上的吸附膜，减少分散粒子所带的同种电荷量，从而达到破乳的目的。

B.1.2.1　盐析法

向乳化含油废水中投加无机盐类电解质，去除乳化油珠外围的水化离子，使油珠间吸引力得到恢复而互相聚集，达到破乳目的。

常用的电解质有氯化钙、氯化镁、氯化钠、硫酸钙、硫酸镁等。酸化法是向废水中投加硫酸、盐酸、醋酸或环烷酸等，破坏乳化液油珠的界膜，使脂肪酸皂变为脂肪酸分离出来。采用这种方法因降低了废液的 pH 值，故在油水分离后需要用碱剂调节 pH 值，使之达到排放标准。

B.1.2.2　过滤法

利用颗粒介质的截留、惯性碰撞、筛分、表面黏附、聚并等作用，去除水中的油分。常用的滤料有石英砂、无烟煤、玻璃纤维、高分子聚合物等。

B.1.2.3　气浮法

用来处理分散油、乳化油和细小的悬浮固体物。由于乳化油的稳定性，在气浮之前必须得先采取脱稳、破乳处理。

B.1.2.4　混凝法

向乳化的含油废水中投入絮凝剂，其水解后生成胶体，吸附油珠，然后通过沉降或气浮的方法将油去除。常用的絮凝剂有明矾、聚合氯化铝、活化硅酸、聚丙烯酰胺、硫酸亚铁、三氯化铁、镁矾土等。此方法在油水分离的同时，还能够去除大量的有机和无机污染物。

B.1.2.5　电解法

通过电解使铁、铝等可溶性金属氧化物失去电子生成铁、铝离子，这些铁、铝离子经水解作用生成铁、铝的氢氧化物，铁、铝氢氧化物具有吸附或凝聚乳化油或溶解的作用，然后用沉降法将油去除。

B.1.2.6　膜超滤法

膜超滤是以超滤膜两侧的压力差为驱动力，以超滤膜为过滤介质所进行的与膜孔径大小相关的筛分过程。在一定的压力下，当料液流过膜表面时，超滤膜只允许水、无机盐及小分子物质透过，而阻止水中的悬浮物、胶体、蛋白质和微生物等大分子物质通过，从而达到溶液净化、分离与浓缩的目的。

B.2　后处理

经过预处理之后的热处理清洗废液，COD 值一般仍较高，尚需要进行后处理以满足排放和回收的要求。常用的后处理方法有吸附法、生化法、高级氧化法等。

B.2.1　吸附法

吸附法一般应用于含油废水的深度处理中。其中膨胀石墨对各种油类、水面浮油、乳化液中的油和低含油废水中的油都有极好的吸附脱除能力。

B.2.2　生物法

生物处理法是利用微生物使部分有机物（包括油类）作为营养物质所吸收转化并合成为微生物体内的有机成分或增殖成新的微生物，其余部分被生物氧化分解成简单的无机或有机物质，如 CO_2、H_2O、N_2、CH_4 等，从而使废水得到净化。

B.2.3　高级氧化法

高级氧化法是通过反应产生羟基自由基，该自由基具有极强的氧化性，通过自由基反应能够将有机污染物有效地分解，甚至彻底转化为无害物质，如 H_2O、CO_2 等。

附录　相 关 资 料

附录 A　标准化机构

1. 中国标准机构

目前中国标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级，见表 A-1 ~ 表 A-4。

1）对需要在全国范畴内统一的技术要求，应当制定国家标准。

2）对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求，可以制定成行业标准。

3）对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求，可以制定地方标准。

4）企业生产的产品没有国家标准、行业标准和地方标准的，应当制定相应的企业标准。对已有国家标准、行业标准和地方标准的，鼓励企业制定严于国家标准、行业标准或地方标准要求的企业标准。

5）对于技术尚在发展中，需要有相应的标准文件引导其发展或具有标准化价值、尚不能制定为标准的项目，以及采用国际标准化组织、国际电工委员会及其他国际组织的技术报告的项目，可以制定国家标准化指导性技术文件。

表 A-1　国家标准代号

序　　号	标准代号	含　　义	管 理 部 门
1	GB	中华人民共和国强制性国家标准	国家标准化管理委员会
2	GB/T	中华人民共和国推荐性国家标准	国家标准化管理委员会
3	GB/Z	中华人民共和国国家标准化指导性技术文件	国家标准化管理委员会
4	GBZ	国家职业卫生标准	中华人民共和国卫生部

表 A-2　行业标准代号

序　　号	标准代号	含　　义	主 管 部 门
1	BB	包装	中国包装工业总公司包改办
2	CB	船舶	国防科工委中国船舶工业集团公司、中国船舶重工集团公司（船舶）
3	CECS	工程建设	中国工程建设标准化协会
4	CH	测绘	国家测绘局国土测绘司
5	CJ	城镇建设	建设部标准定额司（城镇建设）
6	CJJ	城建行业工程建设规程	住房和城乡建设部
7	CY	新闻出版	国家新闻出版总署印刷业管理司
8	DA	档案	国家档案局政法司
9	DB	地震	国家地震局震害防预司
10	DL	电力	中国电力企业联合会标准化中心
11	DZ	地质矿产	国土资源部国际合作与科技司（地质）
12	EJ	核工业	国防科工委中国核工业总公司（核工业）
13	FZ	纺织	中国纺织工业协会科技发展中心
14	GA	公共安全	公安部科技司

（续）

序　号	标准代号	含　义	主管部门
15	GH	供销合作	中华全国供销合作总社
16	GY	广播电影电视	国家广播电影电视总局科技司
17	HB	航空	国防科工委中国航空工业总公司（航空）
18	HCRJ	认定技术条件	
19	HG	化工	中国石油和化学工业协会质量部（化工、石油化工、石油天然气）
20	HGJ	化工行业工程建筑规程	化学工业部
21	HJ	环境保护	国家环境保护总局科技标准司
22	HS	海关	海关总署政法司
23	HY	海洋	国家海洋局海洋环境保护司
24	JB	机械	中国机械工业联合会
25	JC	建材	中国建筑材料工业协会质量部
26	JG	建筑	住房和城乡建设部（建筑工业）
27	JGJ	建筑行业工程建筑规程	住房和城乡建设部
28	JJF	国家计量技术规程	
29	JJG	国家计量检定规程	
30	JR	金融	中国人民银行科技与支付司
31	JT	交通	交通部科教司
32	JY	教育	教育部基础教育司（教育）
33	LB	旅游	国家旅游局质量规范与管理司
34	LD	劳动和劳动安全	劳动和社会保障部劳动工资司（工资定额）
35	LS	粮食	国家粮食局
36	LY	林业	国家林业局科技司
37	MH	民用航空	中国民航管理局规划科技司
38	MT	煤炭	中国煤炭工业协会
39	MZ	民政	民政部人事教育司
40	NY	农业	农业部市场与经济信息司（农业）
41	QB	轻工	中国轻工业联合会
42	QC	汽车	中国汽车工业协会
43	QJ	航天	国防科工委中国航天工业总公司（航天）
44	QX	气象	中国气象局检测网络司
45	SB	商业	中国商业联合会行业发展部
46	SC	水产	农业部（水产）
47	SH	石油化工	中国石油和化学工业协会质量部（化工、石油化工、石油天然气）
48	SJ	电子	信息产业部科技司（电子）
49	SL	水利	水利部科教司
50	SN	商检	国家质量监督检验检疫总局
51	SY	石油	中国石油和化学工业协会质量部（化工、石油化工、石油天然气）
52	SY（>10000）	海洋石油天然气	中国海洋石油总公司
53	TB	铁路运输	铁道部科教司
54	TD	土地管理	国土资源部（土地）
55	TY	体育	国家体育总局体育经济司
56	WB	物资管理	中国物资流通协会行业部

（续）

序　　号	标准代号	含　　义	主 管 部 门
57	WH	文化	文化部科教司
58	WJ	兵工民品	国防科工委中国兵器工业总公司(兵器)
59	WM	外经贸	对外经济贸易合作部科技司
60	WS	卫生	卫生部卫生法制与监督司
61	XB	稀土	国家计委稀土办公室
62	YB	黑色冶金	中国钢铁工业协会科技环保部
63	YC	烟草	国家烟草专卖局科教司
64	YD	通信	信息产业部科技司(邮电)
65	YS	有色冶金	中国有色金属工业协会规划发展司
66	YY	医药	国家药品监督管理局医药局
67	YZ	邮政	国家邮政局计划财务部
68	ZY	中医药	国家中医药管理局

注：行业标准分为强制性和推荐性标准。表中给出的是强制性行业标准代号，推荐性行业标准的代号是在强制性行业标准代号后面加“/T”，例如农业行业的推荐性行业标准代号是 NT/T。

表 A-3　地方标准代号

序　　号	标准代号	含　　义	管 理 部 门
1	DB + *	中华人民共和国强制性地方标准代号	省级质量技术监督局
2	DB + */T	中华人民共和国推荐性地方标准代号	省级质量技术监督局

注：*表示省级行政区划代码前两位。

表 A-4　企业标准代号

序　　号	标准代号	含　　义	管 理 部 门
1	Q + *	中华人民共和国企业产品标准	企业

注：*表示企业代号。

2. 中国标准化管理体制

按国务院授权，在国家质量监督检验检疫总局管理下，国家标准化管理委员会统一管理全国标准化工作。国务院有关行政主管部门和国务院授权的有关行业协会分工管理本部门、本行业的标准化工作。省、自治区、直辖市标准化行政主管部门统一管理本行政区域的标准化工作。省、自治区、直辖市政府有关行政主管部门分工管理本行业行政区域内本部门、本行业的标准化工作。市、县标准化行政主管部门和有关行政部门主管，按照省、自治区、直辖市政府规定的各自的职责，管理本行政区域内的标准化工作。

3. 国际标准化

随着贸易的国际化，标准也日趋国际化。以国际标准为基础制定本国标准，已成为 WTO 对各成员的要求。国际标准化是指在国际范围内由众多国家、团体共同参与开展的标准化活动。目前，世界上约有近 300 个国际和区域性组织，制定标准或技术规则。其中最大的是国际标准化组织（ISO）、国际电工委员会（IEC）、国际电信联盟（ITU），ISO、IEC、ITU 标准为国际标准。此外，被 ISO 认可，收入 KWIC 索引中的其他一些国际组织制定的标准也视为国际标准。国际标准机构及代号见表 A-5。世界部分国家标准代号见表 A-6。国外有关机构标准代号见表 A-7。

表 A-5　国际标准机构及代号

序号	标准化机构	标准代号	序号	标准化机构	标准代号
1	国际电信联盟	ITU	15	国际标准化组织	ISO
2	国际电工委员会	IEC	16	国际计量局	BIPM
3	世界知识产权组织	WIPO	17	世界卫生组织	WHO
4	联合国教科文组织	UNESCO	18	国际铁路联盟	UIC
5	国际葡萄与葡萄酒局	OIV	19	国际法制计量组织	OIML
6	国际兽疾局	OIE	20	国际橄榄油理事会	IOOC
7	国际海事组织	IMO	21	国际劳工组织	ILO
8	国际制冷学会	IIR	22	国际签书馆协会和学会联合会	IFLA
9	国际乳制品联合会	IDF	23	国际辐射单位和测量委员会	ICRU
10	国际辐射防护委员会	ICRP	24	国际民航组织	ICAO
11	国际航空运输协会	IATA	25	国际原子能机构	IAEA
12	国际无线电干扰特别委员会	CISPR	26	国际照明委员会	CIE
13	关税合作理事会	CCC	27	食品法典委员会	CAC
14	国际人造纤维标准化局	BISFA			

表 A-6　世界部分国家标准代号

序号	标准代号	国别	序号	标准代号	国别
1	ISO	国际标准化组织	17	ANSI	美　国
2	TCVN	越　南	18	BS	英　国
3	ГОСТ	俄罗斯	19	NF	法　国
4	VCT	蒙　古	20	CAS	加拿大
5	CSK	朝　鲜	21	ONORM	奥地利
6	KS	韩　国	22	KSS	科威特
7	PTS	菲律宾	23	MSZ	匈牙利
8	THAI	泰　国	24	NBN	比利时
9	UBS	缅　甸	25	NC	古　巴
10	MS	马来西亚	26	NI	印度尼西亚
11	IS	印　度	27	NS	挪　威
12	JIS	日　本	28	NEN	荷　兰
13	SZS	南斯拉夫	29	AS	澳大利亚
14	SIS	瑞　典	30	MZS	新西兰
15	SNV	瑞　士	31	SSS	叙利亚
16	DIN	德　国	32	SABS	南　非

表 A-7 国外有关机构标准代号

标准代号	标 准 名 称	标准代号	标 准 名 称
ACI	美国合金铸造学会标准	CES	日本电子机械协会标准
ADCI	美国压力铸造学会标准	CTIF	法国铸造业技术中心标准
AFM	美国空军手册	DVM	德国材料试验联合会标准
AFNOR	法国标准化协会标准	FDA	美国食品与药物管理局标准
AFS	美国铸造协会标准	IEEE	美国电气电子工程师学会标准
AIA	美国飞机工业协会标准	ISO/R	国际标准化组织建议
AICOA	美国铝工业公司标准	ISO/RIS	国际标准化组织标准草案
AISC	美国钢结构学会标准	ISO/TC	国际标准化组织钢技术委员会
AISE	美国钢铁工程师协会标准	JPI	日本石油协会标准
AISI	美国钢铁学会标准	JSA	日本规格协会标准
AMD	美国宇宙航空材料文件	LR	英国劳氏船级社标准
AMS	美国宇宙航空材料规范	LN	德国航空研究所标准
API	美国石油学会标准	MIL	美国军用标准
ASM	美国金属学会标准	MS	美国宇航材料标准
ASME	美国机械工程师学会标准	MSS	美国阀门和管件制造厂标准化协会标准
ASTM	美国材料试验协会标准	NAS	英国国家宇宙航空标准
AWS	美国焊接学会标准	NSS	日本船舶专业标准
AWWA	美国水道工作协会标准	NIK	日本铸造协会标准
BAS	日本轴承协会标准	NV	挪威船级社标准
BSCA	英国钢结构协会标准	SAE	美国机动车工程师协会标准
BS·S	英国航空材料和零件专业标准—钢材	SMA	日本造船协会标准
BS·B	英国航空材料和零件专业标准—铜合金	SNT	美国无损试验协会标准
BS·HC	英国航空材料和零件专业标准—铸钢件	SME	美国制造工程师学会标准
BS·HR	英国航空材料和零件专业标准—耐热合金	USA	美国金属与合金数字代号推荐办法
BS·L	英国航空材料和零件专业标准—铝及轻金属	VDEH	德国钢铁工程师协会标准
BS·SP	英国航空材料和零件专业标准—标准件	VDI	德国工程师学会标准
BS·T	英国航空材料和零件专业标准—管材	VDMA	德国机械制造联合会标准
BS·TA	英国航空材料和零件专业标准—钛及钛合金	WES	日本焊接协会标准
BSI	英国工业标准	WL	德国航空材料手册
BSRA	英国船舶研究协会标准	W—Nr	德国材料号
BV	法国船级社标准	ICFTA	铸造技术协会国际委员会

附录 B 热处理及相关标准分类目录

序号	标 准 编 号	标 准 名 称
		基 础 标 准
1	GB/T 7232—2012	金属热处理工艺 术语
2	GB/T 8121—2012	热处理工艺材料 术语

（续）

序号	标准编号	标准名称
		基础标准
3	GB/T 13324—2006	热处理设备术语
4	GB/T 12603—2005	金属热处理工艺分类及代号
5	JB/T 8419—2008	热处理工艺材料分类及代号
6	JB/T 9208—2008	可控气氛分类及代号
7	JB/T 8555—2008	热处理技术要求在零件图样上的表示方法
		安全与环保标准
8	GB/T 30822—2014	热处理环境保护技术要求
9	GB 15735—2012	金属热处理生产过程安全、卫生要求
10	GB/T 27945. 1—2011	热处理盐浴有害固体废物的管理　第 1 部分：一般规定
11	GB/T 27945. 2—2011	热处理盐浴有害固体废物的管理　第 2 部分：浸出液检测方法
12	GB/T 27945. 3—2011	热处理盐浴有害固体废物的管理　第 3 部分：无害化处理方法
13	GB/T 27946—2011	热处理工作场所空气中有害物质的限值
		工艺作业标准
14	GB/T 28694—2012	深层渗碳　技术要求
15	GB/T 25743—2010	钢件深冷处理
16	GB/T 25745—2010	铸造铝合金热处理
17	GB/T 24733—2009	等温淬火球墨铸铁件
18	GB/T 16923—2008	钢件的正火与退火
19	GB/T 16924—2008	钢件的淬火与回火
20	GB/T 18177—2008	钢件的气体渗氮
21	GB/T 22560—2008	钢件的气体氮碳共渗
22	GB/T 22561—2008	真空热处理
23	GB/T 18683—2002	钢铁件激光表面淬火
24	JB/T 11805—2014	非调质钢件表面热处理
25	JB/T 11806—2014	可控气氛底装料立式多用炉生产线热处理技术要求
26	JB/T 11809—2014	真空低压渗碳炉热处理技术要求
27	JB/T 11810—2014	真空高压气淬炉热处理技术要求
28	JB/T 1460—2011	滚动轴承　高碳铬不锈钢轴承零件　热处理技术条件
29	JB/T 7363—2011	滚动轴承　低碳钢轴承零件碳氮共渗　热处理技术条件
30	JB/T 8881—2011	滚动轴承　零件渗碳热处理　技术条件
31	JB/T 11077—2011	大型可控气氛井式渗碳炉生产线热处理　技术要求
32	JB/T 11078—2011	钢件真空渗碳淬火
33	JB/T 11087—2011	滚动轴承　钨系高温轴承钢零件　热处理技术条件
34	JB/T 11232—2011	精密气体渗氮技术要求
35	JB/T 4202—2008	钢的锻造余热淬火回火处理
36	JB/T 4215—2008	渗硼

（续）

序号	标 准 编 号	标 准 名 称
工艺作业标准		
37	JB/T 8418—2008	粉末渗金属
38	JB/T 8491.1—2008	机床零件热处理技术条件　第1部分:退火、正火、调质
39	JB/T 8491.2—2008	机床零件热处理技术条件　第2部分:淬火、回火
40	JB/T 8491.3—2008	机床零件热处理技术条件　第3部分:感应淬火、回火
41	JB/T 8491.4—2008	机床零件热处理技术条件　第4部分:渗碳与碳氮共渗、淬火、回火
42	JB/T 8491.5—2008	机床零件热处理技术条件　第5部分:渗氮、氮碳共渗
43	JB/T 8566—2008	滚动轴承　碳钢轴承零件　热处理技术条件
44	JB/T 9197—2008	不锈钢和耐热钢热处理
45	JB/T 9198—2008	盐浴硫氮碳共渗
46	JB/T 9200—2008	钢铁件的火焰淬火回火处理
47	JB/T 9207—2008	钢件在吸热式气氛中的热处理
48	JB/T 10895—2008	可控气氛密封多用炉生产线热处理　技术要求
49	JB/T 10896—2008	推杆式可控气氛渗碳线热处理　技术要求
50	JB/T 10897—2008	网带炉生产线热处理　技术要求
51	JB/T 2850—2007	滚动轴承　Gr4Mo4V　高温轴承钢零件　热处理技术条件
52	JB/T 3999—2007	钢件的渗碳与碳氮共渗淬火回火
53	JB/T 4218—2007	硼砂熔盐渗金属
54	JB/T 6956—2007	钢铁件的离子渗氮
55	JB/T 7500—2007	低温化学热处理工艺方法选择通则
56	JB/T 7529—2007	可锻铸铁热处理
57	JB/T 7711—2007	灰铸铁件热处理
58	JB/T 7712—2007	高温合金热处理
59	JB/T 9201—2007	钢铁件的感应淬火回火处理
60	JB/T 6048—2004	金属制件在盐浴中的加热和冷却
61	JB/T 1255—2001	高碳铬轴承钢滚动轴承零件热处理技术条件
62	JB/T 9171—1999	齿轮火焰及感应淬火工艺及其质量控制
63	JB/T 9172—1999	齿轮渗氮、氮碳共渗工艺及质量控制
64	JB/T 9173—1999	齿轮碳氮共渗工艺及质量控制
65	JB/T 7715—1995	冷锻模具用钢及热处理技术条件
66	JB/T 7516—1994	齿轮气体渗碳热处理工艺及其质量控制
67	JB/T 6058—1992	冲模用钢及其热处理技术条件
68	JB/T 6077—1992	齿轮调质工艺及其质量控制
69	JB/T 5078—1991	高速齿轮材料选择及热处理质量控制的一般规定
70	JB/T 5944—1991	工程机械　热处理件通用技术条件
71	HB/Z 192—2008	软磁合金热处理工艺
72	HB/Z 258—2005	航空钢弹簧制件热处理

（续）

序号	标准编号	标准名称
工艺作业标准		
73	HB/Z 140—2004	航空用高温合金热处理工艺
74	HB/Z 375—2004	航空结构铸件热处理
75	HB 5408—2004	航空热处理用盐规范
76	HB/T 7750—2004	钛合金零件真空热处理
77	HB/Z 352—2002	航空精密仪器仪表金属制件的尺寸稳定化处理
78	HB/Z 159—2001	航空用钢渗碳、碳氮共渗工艺
79	HB/Z 343—2001	可控氮基气氛保护热处理
80	HB/Z 136—2000	航空结构钢热处理说明书
81	HB/Z 340—2000	轴尖合金热处理工艺
82	HB/T 318—1998	镀覆前消除应力和镀覆后除氢处理规范
83	HB/T 327—1998	磁滞合金热处理工艺说明书
84	HB/Z 80—1997	航空用不锈钢、耐热钢热处理说明书
85	HB/Z 310—1997	渗铝工艺
86	HB/Z 5020—1997	铸造铝镍钴永磁合金热处理
87	HB/Z 79—1995	结构钢及不锈钢渗氮工艺说明书
88	HB/Z 276—1995	变形铝合金零件热处理
89	HB/Z 5016—1995	硅钢片热处理工艺
90	HB/Z 5015—1994	电磁纯铁热处理工艺说明书
91	HB/Z 239—1993	膨胀合金热处理工艺说明书
92	HB/Z 216—1992	铜及铜合金热处理工艺说明书
93	HB/Z 191—1991	航空结构钢不锈钢真空热处理说明书
94	HB/Z 161—1990	弹性元件用精密合金多年生产工艺说明书
95	HB/T 5446—1990	铸造铝合金热处理
96	HB 5462—1990	镁合金铸件热处理
97	HB/Z 135—1988	航空用铍青铜热处理工艺说明书
98	HB/Z 137—1988	钛合金热处理工艺说明书
99	HB/Z 64—1981	3 号涂料保护热处理工艺
100	HB/Z 5140—1980	3Cr3Mo3VNb 热作模具钢热处理
101	HB/Z 5162—1979	镍基高温合金
102	TB/T 2906—1998	内燃机车柴油机气门离子氮化技术要求
103	AMS 2769：2009	钢件的真空热处理
104	AMS 2759.7：2006	钢件渗碳热处理
105	AMS 2759.6：2002	低合金钢件气体渗氮热处理
106	AMS 2759.4：2001	奥氏体不锈钢件热处理
107	AMS 2759.5：2001	马氏体不锈钢件热处理
108	AMS 2759.1：2000	碳钢和低合金钢件的热处理

（续）

序号	标 准 编 号	标 准 名 称
工艺作业标准		
109	AMS 2759.2:2000	低合金钢零件的热处理　最小拉伸强度大于等于 220KSI(1517MPa)
110	AMS 2759.3:2000	沉淀硬化不锈钢和马氏体时效钢的热处理
111	DIN 17022.5:2000	钢铁材料热处理　第 5 部分:表面淬火
112	DIN 17022.4:1998	钢铁材料热处理　第 4 部分:渗氮及氮碳共渗
113	DIN 17022.1:1994	钢铁材料热处理　第 1 部分:淬火、回火、退火、正火
114	DIN 17022.2:1986	钢铁材料热处理　第 2 部分:工具的淬火及回火
115	DIN 17021.1:1976	黑色金属的热处理　第 1 部分:根据淬透性选择钢材
116	JIS B 6912:2010	钢铁感应淬火与回火处理
117	JIS B 6913:2010	钢铁淬火与回火处理
118	JIS B 6914:2010	钢铁渗碳(碳氮共渗)淬火回火处理
119	JIS B 6911:1999	钢铁正火与退火处理
120	JIS B 6915:1999	钢铁渗氮及氮碳共渗处理
质量检验标准		
121	GB/T 30823—2014/ISO 9950:1995	测定工业淬火油冷却性能的镍合金探头试验方法
122	GB/T 30824—2014	燃气热处理炉温场均匀性测试方法
123	GB/T 30825—2014	热处理温度测量
124	GB/T 9452—2012	热处理炉有效加热区测定方法
125	GB/T 26656—2011	蠕墨铸铁金相检验
126	GB/T 13925—2010	铸造高锰钢金相
127	GB/T 25744—2010	钢件渗碳淬火回火金相检验
128	GB/T 25746—2010	可锻铸铁金相检验
129	GB/T 230.1—2009	金属材料　洛氏硬度试验　第 1 部分:试验方法(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺)
130	GB/T 231.1—2009	金属材料　布氏硬度试验　第 1 部分:试验方法
131	GB/T 4340.1—2009	金属材料　维氏硬度试验　第 1 部分:试验方法
132	GB/T 7216—2009	灰铸铁金相检验
133	GB/T 9441—2009	球墨铸铁金相检验
134	GB/T 18449.1—2009	金属材料　努氏硬度试验　第 1 部分:试验方法
135	GB/T 224—2008	钢的脱碳层深度测定法
136	GB/T 4339—2008	金属材料热膨胀特征参数的测定
137	GB/T 6611—2008	钛及钛合金术语和金相图谱
138	GB/T 7736—2008	钢的低倍缺陷超声波检验法
139	GB/T 9095—2008	烧结铁基材料　渗碳或碳氮共渗硬化层深度的测定及其验证
140	GB/T 10417—2008	碳化钨钢结硬质合金技术条件及其力学性能的测试方法
141	GB/T 11809—2008	压水堆燃料棒焊缝检验方法　金相检验和 X 射线照相检验
142	GB/T 13305—2008	钢质模锻件　金相组织评级图及评定方法
143	GB/T 15824—2008	热作模具钢热疲劳试验方法

（续）

序号	标准编号	标准名称
		质量检验标准
144	GB/T 15749—2008	定量金相测定方法
145	GB/T 17455—2008	无损检测　表面检测的金相复型技术
146	GB/T 13320—2007	钢质模锻件　金相组织评级图及评定方法
147	GB/T 8760—2006	砷化镓单晶错位密度的测量方法
148	GB/T 5617—2005	钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定
149	GB/T 6462—2005	金属和氧化物覆盖层　厚度测量显微镜法
150	GB/T 6463—2005	金属和其无机覆盖层　厚度测量方法评述
151	GB/T 7998—2005	铝合金晶间腐蚀测定方法
152	GB/T 9450—2005	钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核
153	GB/T 9451—2005	钢件薄表面总硬化层深度或有效硬化层深度的测定
154	GB/T 10561—2005	钢中非金属夹杂物含量的测定——标准评级图显微检验法
155	GB/T 11354—2005	钢铁零件　渗氮层深度测定和金相组织检验
156	GB/T 4296—2004	变形镁合金显微组织检验方法
157	GB/T 4297—2004	变形镁合金低倍组织检验方法
158	GB/T 7735—2004	钢管涡流探伤检验方法
159	GB/T 230.2—2002	金属洛氏硬度试验　第2部分:硬度计(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺)的检验与校准
160	GB/T 230.3—2002	金属洛氏硬度试验　第3部分:标准硬度块(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺)的标定
161	GB/T 231.2—2002	金属布氏硬度试验　第2部分:硬度计的检验与校准
162	GB/T 231.3—2002	金属布氏硬度试验　第3部分:标准硬度块的标定
163	GB/T 6394—2002	金属平均晶粒度测定法
164	GB/T 14999.1—2002	高温合金试验方法　第1部分:纵向低倍组织及缺陷酸浸检验
165	GB/T 14999.2—2002	高温合金试验方法　第4部分:轧制高温合金条带晶粒组织和一次碳化物分布测定
166	GB/T 18876.1—2002	应用自动图像分析测定钢和其他金属中金相组织、夹杂物含量和级别的标准试验方法第1部分:钢和其他金属中夹杂
167	GB/T 1979—2001	结构钢低倍组织缺陷评级图
168	GB/T 8361—2001	冷拉圆钢表面超声波探伤方法
169	GB/T 18449.2—2001	金属努氏硬度试验　第2部分:硬度计的检验
170	GB/T 18449.3—2001	金属努氏硬度试验　第3部分:标准硬度块的标定
171	GB/T 3246.1—2000	变形铝及铝合金制品显微组织检验方法
172	GB/T 3246.2—2000	变形铝及铝合金制品低倍组织检验方法
173	GB/T 8539—2000	齿轮材料及热处理质量检验的一般规定
174	GB/T 4340.2—1999	金属维氏硬度试验　第2部分:硬度计的检验
175	GB/T 4340.3—1999	金属维氏硬度试验　第3部分:标准硬度块的标定

（续）

序号	标 准 编 号	标 准 名 称
		质量检验标准
176	GB/T 17394—1998	金属里氏硬度试验方法
177	GB 16840. 4—1997	电气火灾原因技术鉴定方法第 4 部分:金相法
178	GB/T 1554—1995	硅晶体完整性化学择优腐蚀检验方法
179	GB/T 226—1991	钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
180	GB/T 13298—1991	金属显微组织检验方法
181	GB/T 13299—1991	钢的显微组织评定方法
182	GB/T 8756—1988	锗晶体缺陷图谱
183	GB/T 9441—1988	球墨铸铁金相检验
184	GB/T 9790—1988	金属覆盖层及其他有关覆盖层维氏和努氏显微硬度试验
185	GB/T 4194—1994	钨钼及其合金的烧结坯条、棒材晶粒度测试方法
186	GB/T 4236—1984	钢的硫印检验方法
187	GB/T 4335—1984	低碳钢冷轧薄板铁素体晶粒度测定法
188	GB/T 3488—1983	硬质合金显微组织的金相测定
189	GB/T 3489—1983	硬质合金孔隙度和非化合碳的金相测定
190	GB/T 1814—1979	钢材断口检验法
191	GB/T 15749—2008	定量金相测定方法
192	JB/T 11807—2014	热处理钢件火花试验方法
193	JB/T 5082. 2—2011	内燃机　气缸套　第 2 部分:高磷铸铁金相检验
194	JB/T 8118. 2—2011	内燃机　活塞销　第 2 部分:金相检验
195	JB/T 8118. 3—2011	内燃机　活塞销　第 3 部分:磁粉检测
196	JB/T 9730—2011	柴油机喷油嘴偶件、柱塞偶件、出油阀偶件　金相检验
197	JB/T 10312—2011	钢箔测定碳势法
198	JB/T 5082. 1—2008	内燃机　气缸套　第 1 部分:硼铸铁金相检验
199	JB/T 8420—2008	热作模具钢显微组织评级
200	JB/T 9204—2008	钢件感应淬火金相检验
201	JB/T 9205—2008	珠光体球墨铸铁零件感应淬火金相检验
202	JB/T 9211—2008	中碳钢与中碳合金结构钢马氏体等级
203	JB/T 10174—2008	钢铁零件强化喷丸的质量检验方法
204	JB/T 10175—2008	热处理质量控制要求
205	JB/T 5069—2007	钢铁零件渗金属层金相检验方法
206	JB/T 5074—2007	低、中碳钢球化体评级
207	JB/T 6051—2007	球墨铸铁热处理工艺及质量检验
208	JB/T 6954—2007	灰铸铁接触电阻加热淬火质量检验和评级
209	JB/T 7709—2007	渗硼层显微组织、硬度及层深测定方法
210	JB/T 7710—2007	薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件显微组织检测
211	JB/T 7713—2007	高碳高合金钢制冷作模具显微组织检验

（续）

序号	标准编号	标准名称
		质量检验标准
212	JB/T 6050—2006	钢铁热处理零件硬度测试通则
213	JB/T 10448—2005	钢铁构件固体渗铝工艺及质量检验
214	JB/T 6141.1—1992	重载齿轮　渗碳层球化处理后金相检验
215	JB/T 6141.2—1992	重载齿轮　渗碳质量检验
216	JB/T 6141.3—1992	重载齿轮　渗碳金相检验
217	JB/T 6141.4—1992	重载齿轮　渗碳表面碳含量金相判别法
218	JB/T 5108—1991	铸造黄铜　金相
219	JB/T 5078—1991	高速齿轮材料选择及其热处理质量控制的一般规定
220	HB/T 7579—1997	渗铝质量检验
221	HB 5013—1996	热处理零件检验类别
222	HB/Z 262—1994	金属热处理盐浴化学分析用试样的取样规范
223	HB 5022—1994	航空钢制件渗氮、氮碳共渗金相组织检验标准
224	HB 5023—1994	航空钢制件渗氮、氮碳共渗渗层浓度测定方法
225	HB 5425—1989	航空制件热处理炉有效加热区测定方法
226	QC/T 502—2005	汽车感应淬火零件　金相检验
227	QC/T 262—1999	汽车渗碳齿轮　金相检验
228	QC/T 276—1999	汽车零件热处理硬度规范
229	QC/T 275—2008	汽车发动机镶耐磨圈活塞金相检验
230	QC/T 553—2008	汽车、摩托车发动机铸造铝活塞金相检验
231	QC/T 555—2000(2009)	汽车、摩托车发动机　单体铸造活塞环金相标准
232	QC/T 281—1999(2009)	汽车发动机轴瓦铜铅合金金相标准
233	QC/T 284—1999(2009)	汽车发动机轴瓦锡基和铅基合金　金相标准
234	QC/T 3817—1999(2009)	轻工产品金属镀层和化学处理层的厚度测试方法金相显微镜法
235	YB/T 336—2010	铜、镍及其合金管材和棒材断口检验方法
236	YB/T 370—2006	贵金属及其合金的金相试样制备方法
237	YB/T 5354—2006	金属材料滚动接触疲劳试验方法
238	YB/T 153—1999(2006)	优质碳素结构钢和合金结构钢连铸方坯低倍组织缺陷评级图
239	YB/T 4003—1997(2006)	连铸钢板坯低倍组织缺陷评级图
240	YB/T 4093—1993(2009)	GH4133B 合金盘形锻件纵向低倍组织标准
241	YB/T 4002—1991(2005)	连铸钢方坯低倍组织缺陷评级图
242	YB/T 4052—1991	高镍铬无限冷硬离心铸铁轧辊金相检验方法
243	TB/T 2254—1991	机车牵引用渗碳淬硬齿轮金相检验
244	ISO 2639:2002	钢铁渗碳淬火有效硬化层深度测定和校核
245	ISO 9950:1995	测定工业淬火油冷却性能的镍合金金探头实验方法
246	ISO 4790:1979	钢铁薄表面硬化层或有效硬化层深度的测定
247	ISO 3754:1976	钢的感应淬火有效硬化层深度的测定

（续）

序号	标 准 编 号	标 准 名 称
		质量检验标准
248	AMS 2750 D:2005	高温测量
249	DIN 17052.1:2000	热处理炉　第 1 部分:温度均匀性的要求
250	DIN 50190.4:1999	热处理硬化层深度检验　第 4 部分:熔化硬化层深度的检验
251	DIN 50190.1:1978	热处理零件硬化层深度　第 1 部分:表面硬化深度的检验
252	DIN 50190.2:1979	热处理硬化层深度检验　第 2 部分:表面淬火硬化层深度的检验
253	DIN 50190.3:1979	热处理硬化层深度检验　第 3 部分:氮化处理硬化层深度的检验
254	JIS G 0561:2011	钢的淬透性试验方法
255	JIS G 0558:2007	钢的脱碳层深度测定方法
256	JIS G 0557:2006	钢的渗碳硬化层深度测定方法
257	JIS B 6901:1998	金属热处理炉有效加热区试验方法
258	JIS G 0559:1996	钢的火焰、感应淬火硬化层深度测定方法
259	JIS G 0562:1993	钢铁渗氮层深度测定方法
260	JIS Z 8710:1993	温度测定方法通则
		热处理辅助装置标准
261	JB/T 11808—2014	热处理用真空清洗机技术要求
262	JB/T 6205—2007	实验电阻炉温度控制器
263	JB/T 10457—2004	液态淬火冷却设备　技术条件
264	JB/T 5267—1991	真空管式高频感应加热电源装置
		热处理气体发生装置标准
265	JB/T 2841—1993	控制气体发生装置　基本技术条件
266	JB/T 6759—1993	QX 系列吸热式气体发生装置
267	EN 746.3:1997	工业热处理设备　第 3 部分　气体制备和使用的安全要求
		热处理电热设备标准
268	GB/T 10067.41—2013	电热装置基本技术条件　第 41 部分:网带式电阻加热机组
269	GB/T 10067.42—2013	电热装置基本技术条件　第 42 部分:推送式电阻加热机组
270	GB/T 10066.7—2009	电热装置的试验方法　第 7 部分:具有电子枪的电热装置
271	GB 5959.3—2008	电热装置的安全　第 3 部分:对感应和导电加热装置以及感应熔炼装置的特殊要求
272	GB 5959.4—2008	电热装置的安全　第 4 部分:对电阻加热装置的特殊要求
273	GB 5959.7—2008	电热装置的安全　第 7 部分:对具有电子枪的装置的特殊要求
274	GB 5959.9—2008	电热装置的安全　第 9 部分:对高频介质加热装置的特殊要求
275	GB/T 10066.31—2007	电热装置的试验方法　第 31 部分:高频感应加热装置发生器输出功率的测定
276	GB/T 20115.1—2006	燃料加热装置基本技术条件　第 1 部分:通用部分
277	GB/T 20116.1—2006	燃料加热装置的试验方法　第 1 部分:通用部分
278	GB/T 10066.6—2008	电热装置的试验方法　第 6 部分:工业微波加热装置输出功率的测定方法
279	GB/T 10066.9—2008	电热装置的试验方法　第 9 部分:高频介质加热装置输出功率的测定

（续）

序号	标准编号	标准名称
热处理电热设备标准		
280	GB 5959.1—2005	电热装置的安全　第1部分:通用要求
281	GB/T 10067.1—2005	电热装置基本技术条件　第1部分:通用部分
282	GB/T 10067.2—2005	电热装置基本技术条件　第2部分:电弧加热装置
283	GB/T 10067.3—2005	电热装置基本技术条件　第3部分:感应电热装置
284	GB/T 10067.4—2005	电热装置基本技术条件　第4部分:间接电阻炉
285	GB/T 10066.1—2004	电热设备的试验方法　第1部分:通用部分
286	GB/T 10066.2—2004	电热设备的试验方法　第2部分:有心感应炉
287	GB/T 10066.3—2004	电热设备的试验方法　第3部分:无心感应炉
288	GB/T 10066.4—2004	电热设备的试验方法　第4部分:间接电阻炉
289	GB/T 14809—2000	高频介质加热设备输出功率的测定方法
290	GB/T 10067.5—1993	电热设备基本技术条件高频介质加热设备
291	GB 5959.5—1991	电热装置的安全　第5部分:等离子设备的安全规程
292	GB/T 13338—1991	工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则
293	JB/T 8195.1—2007	间接电阻炉　第1部分:RX系列箱式电阻炉
294	JB/T 8195.7—2007	间接电阻炉　第7部分:SX系列实验箱式炉
295	JB/T 8195.8—2007	间接电阻炉　第8部分:SK系列实验用管式炉
296	JB/T 8195.9—2007	间接电阻炉　第9部分:SG系列实验坩埚式炉
297	JB/T 8195.10—2007	间接电阻炉　第10部分:RF系列强对流井式炉
298	JB/T 8195.11—2007	间接电阻炉　第11部分:RB系列罩式炉
299	JB/T 8195.12—2007	间接电阻炉　第12部分:RY系列电热浴炉
300	JB/T 4311.5—2002(2009)	间接电阻炉RJ系列自然对流井式电阻炉
301	JB/T 8195.2—1999	间接电阻炉　第2部分:RM系列箱式淬火炉
302	JB/T 8195.3—1999	间接电阻炉　第3部分:ZR系列真空热处理和钎焊炉
303	JB/T 8195.4—1999	间接电阻炉　第4部分:ZC系列真空淬火炉
304	JB/T 6206—1992	间接电阻炉　RCW系列阀带式电阻炉
305	DIN 65570:1990	航空航天　热处理装置通用要求
306	EN 746.4:2000	工业热处理设备　第4部分　热浸电镀热处理设备的特殊安全要求
307	EN 746.5:2000	工业热处理设备　第5部分　盐浴热处理设备的特殊安全要求
308	EN 746.8:2000	工业热处理设备　第8部分　淬火设备的特殊安全要求
309	EN 746.1:1997	工业热处理设备　第1部分　工业热处理设备通用安全要求
310	EN 746.2:1997	工业热处理设备　第2部分　燃烧和燃料处理系统的安全要求
热处理设备节能监测标准		
311	GB/T 15318—2010	热处理电炉节能监测
312	GB/T 17358—2009	热处理生产电耗计算和测定方法
313	GB/T 24562—2009	燃料热处理炉节能监测
314	GB/T 2589—2008	综合能耗计算通则

（续）

序号	标准编号	标准名称
热处理设备节能监测标准		
315	GB/T 19944—2015	热处理生产燃料消耗计算和测定方法
316	GB/T 10201—2008	热处理合理用电导则
317	GB/T 21736—2008	节能热处理燃烧加热设备技术条件
318	GB/Z 18718—2002	热处理节能技术导则
319	GB/T 15911—1995	工业电热设备节能监测方法
320	GB/T 15319—1994	火焰加热炉节能监测方法
热处理炉能耗分等标准		
321	JB/T 50162—1999	热处理箱式、台车式电阻炉能耗分等
322	JB/T 50163—1999	热处理井式电阻炉能耗分等
323	JB/T 50182—1999	箱式多用热处理炉能耗分等
324	JB/T 50183—1999	传送式、震底式、推送式、滚筒式热处理连续电阻炉能耗分等
325	JB/T 5632—1991	碳膜电阻渗碳炉　能耗分等
326	JB/T 5644—1991	推杆式热处理电阻炉　能耗分等
327	JB/T 5645—1991	推杆式热处理燃料炉　能耗分等
328	JB/T 5650—1991	弹体及药筒热处理箱式、台车式电阻炉　能耗分等
329	JB/T 5651—1991	弹体及药筒热处理井式电阻炉　能耗分等
330	JB/T 5652—1991	弹体及药筒热处理电热浴炉　能耗分等
331	JB/T 5653—1991	热处理电热铅浴炉　能耗分等
332	JB/T 5701—1991	辊底式热处理炉　能耗分等
333	JB/T 5704—1991	罩式热处理炉　能耗分等
热处理工艺材料标准		
334	GB/T 30823—2014	测定工业淬火油冷却性能的镍合金金探头实验方法
335	JB/T 4392—2011	聚合物水溶性淬火介质测定方法
336	JB/T 4393—2011	聚乙烯醇合成淬火剂
337	JB/T 4390—2008	高、中温热处理盐浴校正剂
338	JB/T 6955—2008	热处理常用淬火介质　技术要求
339	JB/T 9199—2008	防渗涂料　技术要求
340	JB/T 9203—2008	固体渗碳剂
341	JB/T 9209—2008	化学热处理渗剂　技术条件
342	JB/T 5072—2007	热处理保护涂料一般技术要求
343	JB/T 7530—2007	热处理用氩气、氮气、氢气　一般技术要求
344	JB/T 9202—2004	热处理用盐
345	SH/T 0564—1993(2005)	热处理油
346	SH/T 0219—1992(2004)	热处理油热氧化安定性测定法
347	SH/T 0220—1992(2004)	热处理油冷却性能测定法
348	HB 5408—2004	航空热处理用盐规范

（续）

序号	标准编号	标准名称
热处理工艺材料标准		
349	HB 7064.1～6—1994	金属热处理盐浴化学分析方法
350	HB/Z 316—1998	热处理加热用中性盐浴
351	HB 5412—1988	热处理用氩气
352	HB 5413—1988	热处理用氮气
353	HB 5415—1988	热处理用淬火油
354	JIS K 2242:2012	热处理液体

注：本表由国家标准、行业标准、国际和国外先进标准组成。每类标准中首先排国家标准，其次排行业标准，最后排国际和国外先进标准。每类标准中标准排列顺序按年代号，从大到小排。同年代的标准，按标准编号从小到大排。

金属热处理标准权威解读

热处理工程师必备案头卷

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信公众号



机械工业出版社科普平台
科技有的聊



机械工业出版社制造业资讯
制造业那些事儿

上架指导 工业技术/机械工程/热处理

ISBN 978-7-111-51833-4

策划编辑◎陈保华 /封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-51833-4



定价：279.00元